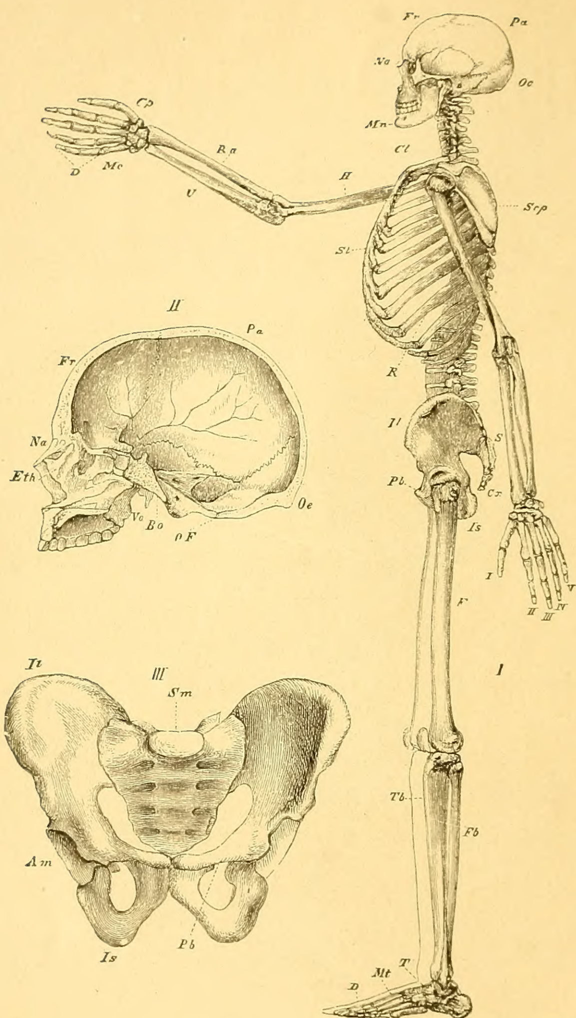
BOSTON
MEDICAL LIBRARY
8 THE FENWAY



Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

http://www.archive.org/details/grundzgederphy00huxl

pl


Fr
Pa
Na
Oc
Mn
Cp
Ra
Mc
D
U
H
Cl
Scp
St
R
S
Pb
Cx
Is
I
II
III
F
Tb
Fb
Mt
T
D
Fr
Pa
Na
Eth
Vo
Bo
Oe
Sm
Am
Pb
Is

THOMAS H. HUXLEY

GRUNDZÜGE DER PHYSIOLOGIE.

MIT BEWILLIGUNG DES VERFASSERS

HERAUSGEGEBEN

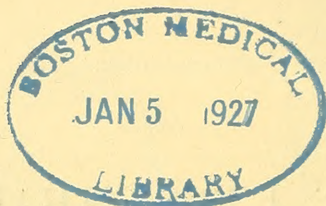
VON

DR. I. ROSENTHAL
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU ERLANGEN.

DRITTE VERBESSERTE UND ERWEITERTE AUFLAGE.

MIT 118 ABBILDUNGEN IM TEXT
UND EINEM TITELBILD.

HAMBURG UND LEIPZIG.
VERLAG VON LEOPOLD VOSS.
1893.


BOSTON MEDICAL
JAN 5 1927
LIBRARY

Alle Rechte vorbehalten.

4. A. 397

Vorwort zur dritten Auflage.

Die vorliegende dritte Auflage von Huxley's „Grundzügen der Physiologie" ist nach der neuesten englischen Ausgabe vollständig umgearbeitet und nach den als sicher festgestellt anzusehenden neuen Errungenschaften der Wissenschaft ergänzt worden. Huxley's bewährte und allgemein anerkannte Meisterschaft in der Darstellung selbst der schwierigen Probleme der Naturwissenschaft machte es dem Herausgeber zur Pflicht, so eng als möglich sich an die Darstellung des Meisters anzuschließen und nur darauf zu achten, daß die Übersetzung die Vorzüge des Originals nicht verwische. Es wurde daher ganz davon Abstand genommen, an dem Text Änderungen vorzunehmen oder kleine Einschiebungen zu machen, wie dies in der ersten und zweiten Auflage geschehen war. Nur an sehr wenigen Stellen wurden ausnahmsweise kleine Einschaltungen aus der zweiten Auflage mit herübergenommen, weil dieselben sich ungezwungen in den Text einfügten. Statt dessen habe ich es vorgezogen, einige Punkte, welche mir einer weiteren Ausführung bedürftig erschienen, unter der Bezeichnung „Ergänzungen" am Schlusse anzufügen.

Diese „Ergänzungen" rühren also ganz allein von mir her und ich allein habe die Verantwortung für ihren Inhalt zu tragen. Die Auswahl der darin behandelten Stoffe hat mir viele Schwierigkeiten gemacht. Ich hätte gern mehr gegeben, musste mich aber beschränken, um den Umfang des Buches nicht allzusehr zu vergrössern. Aus diesem Grunde habe ich mich bestrebt, mich so kurz als möglich zu fassen und Wiederholungen so viel als

möglich zu vermeiden. Trotz dieser Kürze nach Klarheit und Bestimmtheit zu streben, war mein Ziel. Ich hoffe, dass manche Leser des Buches aus den angefügten Ergänzungen ebenfalls Nutzen ziehen werden, besonders wenn sie dieselben erst nach dem aufmerksamen Studium des übrigen Inhalts durchnehmen. Denn die Kenntnis dieses Inhalts galt mir als selbstverständliche Voraussetzung bei der Abfassung jener Zusätze.

Erlangen, im Frühjahr 1893.

I. Rosenthal.

Inhalt.

ERSTE VORLESUNG.

Allgemeine Übersicht über den Bau und die Verrichtungen des menschlichen Körpers.

Seite 1—22.

ZWEITE VORLESUNG.

Das Gefäfssystem und der Kreislauf.

Seite 23—61.

DRITTE VORLESUNG.

Das Blut und die Lymphe.

Seite 62—79.

VIERTE VORLESUNG.

Die Atmung.

Seite 80—112.

FÜNFTE VORLESUNG.

Die Quellen des Gewinnes und Verlustes für das Blut.

SECHSTE VORLESUNG.

Die Ernährungsthätigkeit.

SIEBENTE VORLESUNG.

Bewegung und Ortsbewegung.

Seite 175—206.

ACHTE VORLESUNG.

Empfindungen und Empfindungsorgane.

Seite 207—245.

NEUNTE VORLESUNG.

Das Sehorgan.

S. 246—268.

ZEHNTE VORLESUNG.

Die Vereinigung von Empfindungen unter einander und mit anderen Zuständen des Bewusstseins.

ELFTE VORLESUNG.

Das Nervensystem und seine Thätigkeit.

Seite 284—310.

ZWÖLFTE VORLESUNG.

Histologie oder der feinere Bau der Gewebe.

Seite 311—367.

ANHANG A.

Zusammenstellung einiger anatomischen und physiologischen Zahlenwerte.

Seite 368—372.

ANHANG B.

ERGÄNZUNGEN.

I. Über einige bei den Lebensvorgängen auftretende physikalische Erscheinungen.

2. Über die Zusammensetzung des Tierkörpers.

3. Das Blut.

4. Blutbewegung.

5. Der Puls.

Seite 423—426.

6. Die Atembewegung und ihre Beziehungen zum Kreislauf des Blutes.

Seite 426—429.

7. Die Blutgase und die Atmung.

Seite 429—432.

8. Der Harn.

Seite 432—435.

9. Muskeln, Drüsen und Nerven.

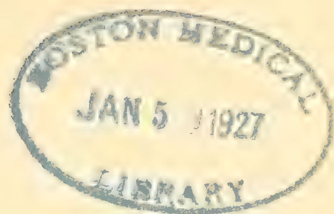
Seite 435—438.

10. Noch einiges über Muskeln.

Seite 438—444.

11. Die Empfindungsnerven.

Seite 444—451.


BOSTON MEDICAL
JAN 5 1927
LIBRARY

ERSTE VORLESUNG.

Allgemeine Übersicht über den Bau und die Verrichtungen des menschlichen Körpers.

1. Der Körper eines lebenden Menschen übt mannigfaltige Thätigkeiten aus, von denen einige ganz augenscheinlich sind; andere verlangen mehr oder weniger sorgfältige Beobachtung; und wiederum andere können nur durch die Anwendung der zartesten Hilfsmittel der Wissenschaft entdeckt werden.

So ist es z. B. sehr leicht zu beobachten, dass einzelne Teile des Körpers eines lebenden Menschen immer in Bewegung sind. Selbst im Schlafe, wenn die Glieder, der Kopf, die Augenlider vollkommen ruhig sind, erinnert uns das ununterbrochene Heben und Senken der Brust, dass wir Schlaf und nicht Tod beobachten.

Nur wenig sorgfältigere Beobachtung gehört dazu, die Bewegung des Herzens zu bemerken, oder die Pulsschläge der Schlagadern; oder die Veränderungen der Weite der Pupille bei wechselndem Lichte; oder sich zu überzeugen, dass die ausgeatmete Luft wärmer und feuchter ist, als die eingeatmete.

Und endlich, wenn wir festzustellen versuchen, was in dem Auge vorgeht, wenn dieses Organ sich den verschiedenen Entfernungen anpasst; oder wie sich ein Nerv verhält, wenn er erregt wird; oder aus welchen Bestandteilen Fleisch und Blut zusammengesetzt sind; oder wie es zusammenhängt, dass ein plötzlicher Schmerz jemanden zusammenfahren lässt: zu solchen und anderen Untersuchungen der Art müssen wir alle Methoden der induktiven und deduktiven Schlussfolgerung zu Hilfe rufen, alle Hilfsquellen der Physik und Chemie und alle Feinheiten der Experimentierkunst.

2. Die Summe der Thatsachen, zu der wir durch diese verschiedenen Arten der Untersuchung gelangen, mögen sie einfach oder verwickelt sein, wenn sie die Thätigkeiten des Körpers und

die Art, wie dieselben ausgeführt werden, betreffen, macht die Wissenschaft der menschlichen Physiologie aus. Ein elementarer Umriss dieser Wissenschaft und so viel aus der Anatomie, als gelegentlich notwendig sein wird, bildet den Gegenstand der folgenden Vorlesungen, von denen ich die gegenwärtige einer allgemeinen Übersicht über den Bau und die Thätigkeiten (oder, wie sie technisch genannt werden, Funktionen) des Körpers widmen werde, soweit sie durch leichte Beobachtung wahrgenommen werden können, oder doch wahrgenommen werden könnten, wenn die Körper der Menschen so leicht zu beschaffen, zu prüfen und dem Versuche zu unterwerfen wären, wie diejenigen der Tiere.

3. Stellen wir uns ein Zimmer mit Eiswänden vor, durch welches ein Strom reiner eiskalter Luft geht, so werden natürlich die Wände des Zimmers ungeschmolzen bleiben.

Jetzt, nachdem wir einen lebenden gesunden Mann mit großer Genauigkeit gewogen haben, lassen wir ihn während einer Stunde in dem Zimmer hin- und hergehen. Indem er dies thut, wird er offenbar einen beträchtlichen Teil mechanischer Arbeit leisten: soviel wenigstens, als nötig ist, um sein Gewicht so hoch und so oft zu heben, als er sich selbst bei jedem Schritte gehoben hat.* Aber außerdem wird eine gewisse Menge von dem Eise geschmolzen oder in Wasser verwandelt werden; zum Beweise, dass der Mann Wärme abgegeben hat. Wenn man ferner die Luft, die in das Zimmer eintritt, vorher durch Kalkwasser hat streichen lassen, so wird sie keinen Niederschlag von kohlensaurem Kalk bewirken, weil die Menge von Kohlensäure, die sich in gewöhnlicher Luft befindet, so gering ist, dass sie auf diesem Wege nicht nachgewiesen werden kann. Aber wenn die Luft, die hinausgeht, gleichfalls durch Kalkwasser streichen muss, so wird letzteres bald milchig werden durch einen Niederschlag von kohlensaurem Kalk und so das Vorhandensein von Kohlensäure anzeigen, welche ebenso wie die Wärme von dem Manne abgegeben worden ist. Ferner, wenn die Luft ganz trocken ist beim Eintritte in das Zimmer, so wird diejenige, die von dem Manne ausgeatmet und die von seiner Haut abgegeben wird, Dampfwolken aufweisen; welcher Wasserdampf daher aus dem Körper stammt.

* Vgl. Vorl. VII, § 20.

Nach Verlauf der Stunde, während welcher das Experiment gedauert hat, wollen wir den Mann ausruhen lassen und ihn wiederum wägen. Wir werden finden, dass er an Gewicht verloren hat.

Also ein lebendiger, thätiger Mensch leistet fortwährend mechanische Arbeit, giebt Wärme ab, entwickelt Kohlensäure und Wasser und erleidet einen Verlust an seinem Gewichte.

4. Offenbar könnte dieser Stand der Dinge nicht bis zu einer unbegrenzten Zeit fortdauern, ohne dass der Mann zu nichts zusammenschrumpfen müsste. Aber lange bevor die Wirkungen dieser allmählichen Verminderung des Stoffes einem anderen deutlich werden, sind sie vom Gegenstande des Versuches in der Form der beiden gebieterischen Empfindungen, Hunger und Durst genannt, gefühlt worden. Um diese Bedürfnisse zu befriedigen, um das Gewicht des Körpers wieder auf die vorige Höhe zu heben, um ihn zu befähigen, noch ferner Wärme, Wasser und Kohlensäure in derselben Menge auf unbestimmte Zeit abzugeben, ist es durchaus nötig, dass der Körper mit jedem der folgenden Dinge versehen werde, aber auch nur mit diesen dreien allein. Diese sind erstens frische Luft, zweitens Getränk, bestehend aus Wasser in irgend einer Gestalt, soviel es auch verfälscht sein mag, drittens Speise. Einer von den zusammengesetzten Stoffen, welche die Chemiker Eiweifskörper nennen, und welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff zusammengesetzt sind, muss einen Bestandteil dieser Speise bilden, wenn sie das Leben auf die Dauer erhalten soll, und Fette, stärkemehl- oder zuckerartige Stoffe müssen in der Nahrung enthalten sein, wenn sie das Leben auf die Dauer und ohne Nachteile erhalten soll.

5. Eine gewisse Menge des Stoffes, der als Nahrung eingenommen ist, kann entweder nicht verbraucht werden, oder ist aus irgend einem Grunde nicht verbraucht worden und verlässt den Körper fast unverändert, indem er einfach den Nahrungskanal durchwandert hat, ohne im eigentlichen Sinne Bestandteil des Organismus geworden zu sein. Aber beim ganz gesunden Zustand und wenn nur soviel Nahrung als notwendig eingenommen ist, verlässt kein ansehnlicher Teil irgend eines Eiweifskörpers, oder von Fett, oder Stärkemehl, oder Zucker den Körper

durch irgend einen Kanal. Fast alles, was aus dem Körper geht, thut dieses vielmehr entweder in der Form von *Wasser*, oder von *Kohlensäure*, oder einer dritten Substanz, *Harnstoff* genannt (welche alle, wie wir noch genauer nachweisen werden, aus den genannten Nahrungsstoffen innerhalb des Organismus entstanden sind), oder in der Form gewisser Salzverbindungen.

Wir nennen alle diese Stoffe, welche von dem lebenden Körper ausgegeben werden, *Auswurfstoffe*. Und die Chemiker haben nachgewiesen, dass dieselben alle zusammengenommen viel mehr *Sauerstoff* enthalten, als die Speisen und das Wasser, welche eingenommen sind.

Nun aber ist die einzig mögliche Quelle, aus welcher der Körper Sauerstoff entnehmen kann, abgesehen von Speise und Trank, die Luft, die ihn umgiebt.* Und sorgfältige Untersuchung der Luft, welche das Zimmer des oben beschriebenen Versuches verlässt, würde zeigen, dafs dieselbe nicht nur *Kohlensäure* von dem Manne *aufgenommen*, sondern auch *Sauerstoff* in ebenso grofser oder noch etwas gröfserer Menge an ihn *abgegeben* hat.

6. Wenn also ein Mann weder an Gewicht verliert noch gewinnt, so müsste die Summe der Gewichte aller oben aufgezählten Substanzen, welche aus dem Körper gehen, genau dem Gewichte von Speise und Trank entsprechen, welche er aufnimmt, den Sauerstoff mit gerechnet, den er aus der Luft entnimmt. Und es ist bewiesen, dass dies der Fall ist.

Hieraus folgt also, dass ein gesunder Mann, der an seinem Gewicht weder zu- noch abnimmt, *fortwährend* Stoffe verbraucht und abgiebt, dagegen den Verlust nur *zeitweilig* ausgleicht, so dass, wenn man ihn auf eine Wagschale einer feinen Wage, wie solche zum Briefwägen gebraucht wird, bringen könnte, dieselbe bei jeder Mahlzeit sinken und in den Zwischenräumen steigen müsste, in gleichen Entfernungen auf jeder Seite der Durchschnittslage hin und her schwankend, welche nie länger als für wenige Minuten beibehalten würde.

Es giebt daher keinen wirklichen Gleichgewichtszustand des Körpergewichtes; was wir so nennen, ist einfach ein Zustand des

* Frische Landluft enthält auf 100 Teile etwas über 20 Teile Sauerstoff und 79 Teile Stickstoffgas zusammen mit einem kleinen Bruchteile Kohlensäure und Ammoniak und einer wechselnden Menge Wasserdampf.

Wechsels in sehr engen Grenzen — ein Zustand, in welchem Gewinn und Verlust der zahlreichen täglichen Umsetzungen des Haushaltes einander aufwiegen.

7. Vorausgesetzt, dieser täglich sich ausgleichende physiologische Zustand wäre erreicht, so kann er nur so lange erhalten bleiben, als die Menge mechanischer Arbeit, die geleistet, und der Wärme oder einer anderen Kraft, die entwickelt wird, unbedingt unverändert bleiben.

Lassen wir einen solchen in physiologischem Gleichgewichte befindlichen Mann eine schwere Last vom Boden aufheben, so wird der Verlust an Gewicht, den er ohne diese Anstrengung erlitten hätte, augenblicklich um einen bestimmten Betrag vergröfsert sein, der nur wieder ausgeglichen werden kann, wenn ihm ein angemessener Zuschufs zu seiner Nahrung zugeführt wird. Das Gleiche muss eintreten, wenn der Mann mehr Wärme abgiebt, vorausgesetzt, dass sein Körper trotzdem ebenso warm bliebe, als er vorher war.

Andererseits, wenn seine Anstrengung vermindert oder seine Wärmeentwickelung herabgesetzt würden, so müsste er entweder an Gewicht zunehmen, oder ein Teil seiner Nahrung würde unverbraucht bleiben.

So geht bei einem angemessen genährten Manne fortwährend ein Strom Nahrung in Form zusammengesetzter Massen in den Körper ein, die verhältnismäfsig wenig Sauerstoff enthalten; und ebenso fortdauernd verlassen die Nahrungselemente den Körper (entweder bevor, oder nachdem sie einen Teil der lebendigen Substanz gebildet haben) mit mehr Sauerstoff verbunden.

Und die ununterbrochene Zersetzung und Oxydation der zusammengesetzten Massen, die in den Körper eintreten, stehen in geradem Verhältnisse zu der Arbeitsmenge, welche der Körper erzeugt, sei es in Gestalt von Wärme oder auf eine andere Art: ganz so wie der Betrag von Arbeit, den eine Dampfmaschine leistet, und der Betrag von Wärme, welchen sie und ihr Schornstein abgeben, im geraden Verhältnisse zu ihrem Kohlenverbrauche stehen.

8. Von diesen allgemeinen Betrachtungen über die Natur des Lebens, als physiologische Arbeit angesehen, wollen wir uns zur Aufgabe wenden, eine ebenso kurze Übersicht über den Apparat, der die Arbeit ausübt, zu gewinnen. Wir haben die allgemeine

Thätigkeit der Maschine betrachtet, nun wollen wir sehen, wie sie gebaut ist.

Der menschliche Körper zerfällt für die einfachste Betrachtung in Kopf, Rumpf und Glieder. Am Kopfe unterscheiden wir die Hirnschale oder den Schädel vom Gesichte. Der Rumpf zerfällt natürlicherweise in die Brust oder den Thorax und den Bauch. Von den Gliedern giebt es zwei Paare — die oberen oder Arme, und die unteren oder Beine: und Arme und Beine sind wiederum durch ihre Gelenke in Teile geschieden, die sichtlich eine gewisse Ähnlichkeit ihrer Bestandteile aufweisen: Schenkel und Oberarm, Unterschenkel und Vorderarm, Mittelfuſs und Mittelhand, Zehen und Finger, welche einander vollkommen entsprechen. Und die beiden letzten sind in der That einander so ähnlich, dass im Lateinischen nur ein Name für beide besteht (*digitus*), während die verschiedenen Glieder der Finger und Zehen einen gemeinschaftlichen Namen, Phalangen, haben.

Wir sehen ferner, dass der ganze derart zusammengesetzte Körper (abgesehen von den Eingeweiden) zweiseitig symmetrisch ist; d. h. wenn er mit einem groſsen Messer in der Länge gespalten würde, so dass dieses sowohl an der Bauch- als an der Rückenfläche gerade durch die Mittellinie ginge, dann würden die beiden Hälften genau eine der anderen gleichen, sowie ein Gegenstand und sein Spiegelbild.

9. Auf diese Art geteilt, würde die eine Hälfte des Körpers (Fig. 1, A) im Rumpfe die Schnittflächen von dreiunddreiſsig Knochen sehen lassen, die durch eine sehr starke zähe Masse zu einer langen Säule verbunden sind, welche der Rückenfläche viel näher als der Bauchfläche liegt. Die so durchschnittenen Knochen heiſsen Wirbelkörper. Sie trennen einen langen, engen Kanal, Wirbelkanal genannt, der auf ihrer Rückenseite liegt, von dem weiten Raume der Brust- und Bauchhöhle, die auf ihrer Vorderseite liegen. Zwischen Wirbelkanal und Bauchhöhle besteht keine unmittelbare Verbindung.

Der Wirbelkanal enthält einen langen, weiſsen Strang, das Rückenmark, welches einen wesentlichen Teil des Nervensystems ausmacht. Die Leibeshöhle ist in zwei Unterabteilungen, Brust und Bauch, durch eine bemerkenswerte, teils fleischige, teils häutige Masse (Fig. 1, A, D), das Zwerchfell, geteilt, welches

nach der Bauchseite konkav und nach der Brustseite konvex ist. Der Verdauungskanal (Fig. 1, Al) geht durch diese beiden Höhlungen von einem Ende zum anderen, indem er das Zwerchfell durchbohrt. Dasselbe geschieht auch mit einer langen doppelten Reihe deutlich abgegrenzter Massen von Nervensubstanz, Ganglien genannt, die untereinander durch Nervenstränge verbunden sind (Fig. 1, Sy), und die den sogenannten Sympathicus bilden. Der Bauch enthält noch aufser diesen Teilen die beiden Nieren, eine an jeder Seite der Wirbelsäule, die Leber, die Bauchspeicheldrüse und die Milz. Die Brust enthält aufser dem Abschnitte des Verdauungskanals und des Sympathicus noch das Herz und die zwei Lungen. Die letzteren sind auf jeder Seite des Herzens gelegen, welches fast in der Mitte der Brust liegt.

Wo der Rumpf in den Kopf übergeht, folgt auf den obersten der dreiunddreifsig Wirbelkörper eine zusammenhängende Knochenmasse, die sich durch die ganze Länge des Kopfes erstreckt und gleich der Wirbelsäule einen hinteren von einem vorderen Teile trennt. Der hintere Teil oder die Schädelhöhle ist nach dem Wirbelkanal zu offen. Sie enthält eine Masse Nervensubstanz, das Gehirn genannt, welches mit dem Rückenmark zusammenhängt. Gehirn und Rückenmark zusammen bilden den Hauptstamm des Nervensystems oder das Centralnervensystem (CS, CS). Die vordere Kammer oder Gesichtshöhle wird fast ganz vom Munde und dem Schlundkopfe ausgefüllt, in welchen letzteren der obere Teil des Verdauungskanals (Schlundröhre oder Oesophagus) mündet.

10. So zeigt uns die Betrachtung eines Längsschnittes, dass der menschliche Körper eine doppelte Röhre ist; die beiden Röhren sind von einander durch die Wirbelkörper und die knöcherne Grundlage des Schädels getrennt, welche den Boden der einen Röhre und das Dach der anderen bilden. Die hintere Röhre enthält das Centralnervensystem, die vordere den Verdauungskanal, das sympathische Nervensystem, das Herz und noch andere Organe.

Querschnitte, die senkrecht auf die Axe der Wirbelsäule oder der Hirnschale gemacht werden, zeigen noch deutlicher, dass dies der Grundplan für den Bau des menschlichen Körpers ist, und dass der scheinbar so grofse Unterschied zwischen Kopf und

Rumpf nur auf der verschiedenen Gröſse der hinteren und vorderen Höhlung beruht. Am Kopfe ist die erstere sehr groſs im Verhältnisse zur letzteren (Fig. 1, B); in Brust und Bauch ist sie hingegen sehr klein (Fig. 1, C).

Die Glieder enthalten keine solche Kammern wie der Rumpf und Kopf; sondern mit Ausnahme gewisser verzweigter Röhren, welche Flüssigkeit enthalten und Blut- oder Lymphgefäſse genannt werden, sind sie durchweg fest oder halbfest.

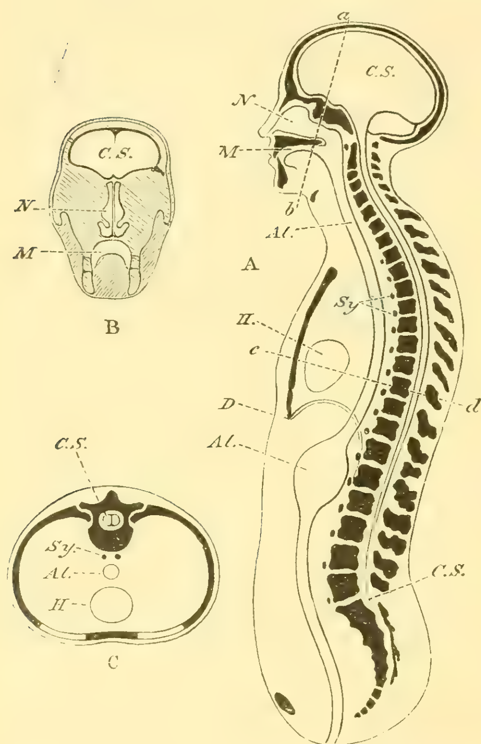


Fig. 1.

11. Nachdem wir jetzt den allgemeinen Charakter und die Anordnung der menschlichen Körperteile betrachtet haben, wird es gut sein, zunächst zu überlegen, in welche Bestandteile er zerlegt werden kann, ohne die Anwendung anderer Untersuchungsmittel als das Auge und das anatomische Messer.

Mit diesen Mitteln ist es leicht, die zähe Membran, welche den ganzen Körper einhüllt und welche Haut oder Hautbedeckung genannt wird,

A. **Schematischer Längsschnitt durch die Mittelebene des Körpers.** *CS* Das Hirnrückenmarkssystem; *N* die Nasenhöhle; *M* die Mundhöhle; *Al*, *Al* der Verdauungskanal, als ein einfaches Rohr schematisch dargestellt, mit einer Erweiterung, welche den Magen andeutet; *H* das Herz; *D* das Zwerchfell; *Sy* die Ganglien des Sympathicus.

B. **Durchschnitt durch den Kopf in der Richtung der Linie** ***ab*** **Fig. A.** Die Buchstaben bezeichnen dasselbe wie dort.

C. **Querschnitt durch den Rumpf in der Richtung** ***cd***. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung.

von den unter ihr liegenden Teilen zu trennen. Weiter kann man sich schnell überzeugen, dafs diese Hautbedeckung aus zwei Teilen besteht, einer oberen Schicht, welche Epidermis oder Oberhaut genannt wird und welche fortwährend in Form von Pulver oder Schuppen abgeworfen wird, die aus kleinen Teilchen von Hornstoff bestehen; und einer tieferen Schicht, Lederhaut genannt, die fest und faserig ist (vgl. Fig. 32). Wenn die Epidermis verletzt wird, so verursacht dies keinen Schmerz und sie blutet auch nicht. Dagegen ist die Lederhaut gegen Verletzung sehr empfindlich und blutet leicht.

Eine praktische Unterscheidung der beiden ergiebt sich beim Rasieren, während welcher Verrichtung das Messer nur Oberhautteile schneiden soll; denn wenn es etwas tiefer geht, verursacht es Schmerz und Blutverlust.

Die Haut kann ziemlich leicht von allen Teilen der Oberfläche abgelöst werden, nur an den Rändern der Körperöffnungen scheint sie aufzuhören und durch eine Schicht ersetzt zu werden, die weit röter und empfindlicher ist, leicht blutet und feucht erhalten wird durch eine mehr oder minder klebrige Flüssigkeit, Schleim genannt.

Daher sagt man, dass die Hautbedeckung an diesen Öffnungen aufhört und einer Schleimhaut Platz macht, welche alle diejenigen inneren Höhlungen, in welche die Öffnungen münden, wie z. B. den Verdauungskanal, bekleidet. Aber in Wahrheit hört die Hautbedeckung an diesen Punkten nicht auf, sondern geht unmittelbar in die Schleimhaut über, welche letztere nur eine Bedeckung von gröfserer Zartheit ist, aber im Grunde aus denselben zwei Schichten besteht; einer tieferen, faserigen, blutreichen und nervenführenden, und einer oberen hornigen, unempfindlichen und blutleeren Schicht, welche hier Epithelium genannt wird. So kann man sagen, dass jeder Teil des Körpers von den Wänden eines doppelten Sackes umgeben ist, welcher besteht aus der Epidermis, die die Aufsenseite bekleidet, und ihrer Fortsetzung, dem Epithelium, welches die inneren Höhlungen bedeckt.

12. Die Lederhaut und die tiefe blutreiche Schicht, welche ihr in den Schleimhäuten entspricht, bestehen hauptsächlich aus einer faserigen Substanz, die beim Kochen viel Leim abgiebt; sie ist diejenige Substanz, welche gegerbt wird, wenn man aus

Haut Leder macht. Man nennt sie Bindegewebe*, weil durch dieses im ganzen Körper sehr verbreitete Gewebe die verschiedenen Teile zusammengehalten werden. In der That, es geht von der Haut zwischen alle die anderen Organe, umgiebt die Muskeln mit Scheiden, bekleidet die Knochen und Knorpel und erreicht zuletzt die Schleimhäute und dringt in sie ein. Und so vollständig durchdringt dieses Bindegewebe alle Teile des Körpers, dass, wenn jedes andere Gewebe weggeschnitten werden könnte, ein vollständiges Modell aller Organe in diesem Gewebe übrig bleiben würde. Das Bindegewebe wechselt oft seinen Charakter: an mancher Stelle ist es sehr zart und weich; an anderen, wie bei den Sehnen und Bändern, die fast ganz aus ihm bestehen, erlangt es grofse Festigkeit und Dichtigkeit.

13. Unter den wichtigsten Geweben, die vom Bindegewebe umgeben und eingehüllt werden, sind einige, deren Dasein und Thätigkeit man schon am lebenden Körper beobachten kann.

Wenn der ausgestreckte Arm eines Mannes von einer anderen Person am Oberarme fest angefasst wird, so wird letztere, wenn der Mann seinen Vorderarm in die Höhe hebt, fühlen, wie eine grofse weiche Masse, die an der Vorderseite des Oberarmes liegt, anschwillt, hart wird und sich hervorbuchtet. Wenn der Arm wieder ausgestreckt wird, verschwindet die Anschwellung und Härte. Wird die Haut abgelöst, so findet man, dass der Körper, der auf diese Art seine Form verändert hat, eine Masse von rotem Fleische ist, welche von Bindegewebe eingehüllt ist. Die Hülle setzt sich nach jeder Seite in eine Sehne fort, durch welche jene Masse befestigt ist, einerseits an dem Schulterknochen, andererseits an einem der Knochen des Vorderarmes. Diese Fleischmasse wird der zweiköpfige Muskel genannt und hat die Fähigkeit, seine Form zu verändern, kürzer werdend und zugleich dicker in demselben Verhältnisse wie er an Länge abnimmt — wenn er entweder durch den Willen oder irgend eine andere Ursache** beeinflusst wird.

Diese Veränderung im Zustand eines Muskels, durch die seine Form verändert, der Muskel kürzer und zugleich dicker

* Jeder solche Bestandteil des Körpers, welcher eine bestimmte Beschaffenheit aufweist, durch die er sich von andern wesentlich unterscheidet, wie z. B. Oberhaut, Knorpel oder Muskel, wird „Gewebe“ genannt. (Vgl. Vorlesung XII.)

** Dergleichen Ursachen nennt man Reize. (Näheres in Vorl. VII.)

wird, nennt man seine Zusammenziehung. Durch diese Eigenschaft wird das Muskelgewebe befähigt, die Körperteile in Bewegung zu setzen, indem die Muskeln so zwischen den Systemen von Hebeln, welche den Körper stützen, angeordnet sind, dass ihre Verkürzung notwendigerweise die Bewegung eines Hebels gegen den anderen nach sich zieht.

14. Diese Hebel sind Teile des Systems harter Gewebe, welche das Skelett bilden. Die weniger harten von diesen sind die Knorpel, die aus einer dichten, festen Substanz bestehen. Die härteren sind die Knochen, welche aus Knorpelmasse oder Bindegewebemasse bestehen, die durch einen Zusatz von phosphorsaurem und kohlensaurem Kalk hart geworden sind. Sie sind tierische Gewebe, die gewissermafsen versteinert wurden; wenn man die Kalksalze herauszieht, wie dies mit Hilfe von Säuren möglich ist, so bleibt ein Modell des Knochens in weicher, biegsamer tierischer Masse zurück.

Man zählt mehr als zweihundert gesonderte Knochen im menschlichen Körper; doch wechselt die wirkliche Zahl von unterscheidbaren Knochen je nach dem Lebensalter, da in der Jugend noch viele Knochen gesondert sind, die im Alter zusammenwachsen. Wir haben z. B. gesehen, dass ursprünglich dreiunddreifsig gesonderte Knochenkörper in der Wirbelsäule sind, und die vierundzwanzig oberen bleiben auch gewöhnlich das ganze Leben hindurch gesondert. Aber der fünf-, sechs-, sieben-, acht- und neunundzwanzigste verbinden sich früh zu einem grofsen Knochen, Kreuzbein genannt; und die vier übrigbleibenden schmelzen oft in eine Knochenmasse, Steifsbein genannt, zusammen.

Im jugendlichen Alter enthält die Gehirnschale zweiundzwanzig natürlich getrennte Knochen, aber in der Kindheit ist die Zahl viel gröfser und im späten Alter viel geringer. Vierundzwanzig Rippen begrenzen die Brust seitlich, zwölf auf jeder Seite, und die meisten sind durch Knorpel mit dem Brustbeine verbunden. In dem Gürtel, den die Schulter bildet, sind jederseits zwei Knochen unterscheidbar, das Schulterblatt und das Schlüsselbein. Das Becken, an welches sich die Beine ansetzen, besteht aus zwei Knochen, welche bei den Erwachsenen die namenlosen Knochen genannt werden; aber jedes namenlose Bein ist in der Jugend in drei zerlegbar: das Schambein, das

Sitzbein und das Hüftbein. Dreifsig Knochen sind in jedem Arme und dieselbe Zahl in jedem Beine, die Patella oder Kniescheibe mitgerechnet.

Alle diese Knochen sind durch Bänder oder Knorpel verbunden, und wo sie frei aufeinander spielen, bedeckt ein Knorpelüberzug die sich berührenden Oberflächen. Die freiliegenden Oberflächen dieser Gelenkknorpel, welche die Gelenke zusammensetzen, sind wiederum überzogen mit einer zarten Gelenkhaut, die eine schlüpfrig machende Flüssigkeit, die Gelenkschmiere, absondert.

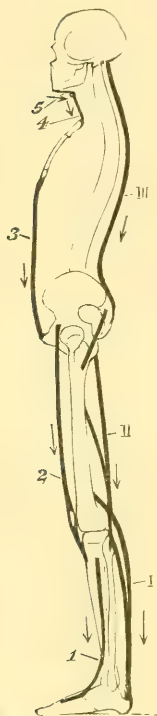


Fig. 2.

15. Obgleich die Knochen des Skeletts alle fest untereinander durch Bänder und Knorpel verbunden sind, spielen doch die Gelenke so frei, und der Schwerpunkt eines aufrechtstehenden Körpers liegt so hoch oben, dass es unmöglich ist, ein Skelett oder einen toten Körper ohne Hilfe in aufrechter Stellung zu erhalten. Diese Stellung, so leicht sie scheint, ist beim Lebenden das Ergebnis der Zusammenziehung einer grofsen Anzahl Muskeln, die einander entgegen wirken und sich gegenseitig im Gleichgewichte erhalten.* So z. B. wenn der Fufs die Stützfläche gewährt, müssen sich die Muskeln der Wade (Fig. 2, I) zusammenziehen, sonst würden Beine und Körper nach vorne fallen. Aber dieselben Muskeln haben zugleich die Wirkung, das Bein zu beugen; und dies zu verhindern sind die grofsen Muskeln auf der Vorderseite des Schenkels nötig. Diese wieder dienen zugleich dazu, durch ihre Thätigkeit den Körper nach vorn zu beugen: und wenn der

Schematische Darstellung der wichtigsten Muskeln, welche zur Erhaltung der aufrechten Stellung mitwirken. I Muskeln der Wade. II Muskeln an der hinteren Seite des Oberschenkels. III Muskeln der Wirbelsäule, welche das Vornüberfallen des Oberkörpers verhindern. 1 Muskeln der vorderen Seite des Unterschenkels. 2 Muskeln an der Vorderseite des Oberschenkels. 3 Muskeln der vorderen Bauchwand. 4. 5 Muskeln des Halses. — Die Pfeile bezeichnen die Richtung, nach welcher die Muskeln bei festgestelltem Fufse wirken.

* Allerdings wird den Muskeln diese Arbeit durch gewisse Einrichtungen, von denen später die Rede sein wird, wesentlich erleichtert.

Körper steif erhalten werden soll, muss ihre Wirkung wiederum aufgehoben werden durch die Muskeln des Beckens und die Rückenmuskeln (Fig. 2, III auf vor. Seite).

Die aufrechte Stellung, die wir so leicht und ohne darüber nachzudenken einnehmen, ist also die Folge zusammengesetzter und genau abgewogener Thätigkeiten einer grofsen Zahl von Muskeln. Woher kommt es, dass sie auf diese Art zusammenwirken?

16. Nehmen wir an, dass ein Mensch in aufrechter Stellung einen heftigen Schlag auf den Kopf bekomme. Wir wissen, was darauf erfolgt. Sofort wird er zusammensinken mit schlaffen, machtlosen Gliedern. Was ist ihm begegnet? Der Schlag hat nicht einen einzigen Muskel des Körpers getroffen; er hat den Verlust nicht eines einzigen Tropfen Blutes verursacht: und in der That, wenn die Erschütterung nicht zu grofs war, wird sich der Leidende nach wenigen Minuten Bewusstlosigkeit wieder erholen und so wohl sein wie vorher. Es ist klar, dass kein bleibendes Leid irgend einem Teile des Körpers zugefügt worden ist, am wenigsten den Muskeln. Aber es ist ein Einfluss ausgeübt worden auf irgend etwas, das die Muskeln regiert. Und diesen Einfluss können selbst sehr feine Ursachen schon ausüben. Eine starke geistige Erregung oder ein sehr schlechter Geruch kann bei manchen Menschen dieselbe Wirkung hervorbringen wie ein Schlag auf den Kopf.

Diese Beobachtungen könnten zu dem Schlusse führen, als ob es der Geist wäre, der unmittelbar die Muskeln regiert, aber eine genauere Nachforschung wird zeigen, dass dies nicht der Fall ist. Es ist gelegentlich beobachtet worden, dass bei Menschen infolge von Stich- oder Schufsverletzungen das Rückenmark vollkommen durchtrennt wurde, ohne Verletzung anderer Teile. Solche Menschen verloren dann die Macht aufrecht zu stehen wie zuvor, trotzdem ihr Verstand vollkommen klar blieb. Und sie verloren nicht nur unter diesen Umständen die Macht aufrecht zu stehen, sondern behielten auch nicht länger die Fähigkeit, irgend welchen Vorgang in ihren Beinen zu empfinden oder durch eigene Willensthätigkeit Bewegung in ihnen zu erzeugen.

17. Und dennoch, trotzdem der Wille ganz von den unteren Gliedmafsen abgeschnitten ist, bleibt doch eine beaufsichtigende und regierende Kraft in dem Körper. Denn wenn die Sohlen

der gelähmten Füſse gekitzelt werden, zucken die Beine, trotzdem kein Gefühl der Berührung zum Bewusstsein kommt, zusammen, sogar stärker als es bei einer gesunden Person der Fall sein würde. Wenn andererseits eine Reihe galvanischer Schläge durch das Rückenmark geleitet würde, würden die Beine weit kräftigere Bewegungen ausüben, als der Wille einer gesunden Person hervorbringen könnte. Wenn jedoch die Beschädigung derart ist, dass das Rückenmark in seiner ganzen Länge zerquetscht oder vollkommen zerstört ist, werden alle diese Erscheinungen aufhören; das Kitzeln der Sohlen oder die Leitung galvanischer Schläge den Rücken entlang werden dann keine Wirkung mehr auf die Beine ausüben.

Durch noch weitere Untersuchungen dieser Art gelangen wir zu dem bemerkenswerten Schlusse, dass das Gehirn der Sitz aller Empfindung und geistigen Thätigkeit ist und die erste Quelle jeder freiwilligen Muskelzusammenziehung, während das Rückenmark fähig ist, Einwirkungen von auſsen zu empfangen und sie nicht nur in eine einfache Muskelzusammenziehung, sondern auch in eine ganze Reihe solcher Zusammenziehungen zu verwandeln. So können wir also im allgemeinen von den Gehirnrückenmarks-Nervencentren sagen, dass sie die Kraft haben, wenn sie von auſsen gewisse Einwirkungen erfahren, einfache oder zusammengesetzte Muskelzusammenziehungen zu erzeugen.

18. Aber wir müssen ferner bemerken, dass diese Einwirkungen von auſsen von sehr verschiedener Beschaffenheit sind. Jeder Teil der Körperoberfläche kann derart erregt werden, dass die Empfindungen des Gefühls oder des Tastens, bzw. von Wärme oder Kälte zu stande kommen. Auch ist jede Substanz fähig, unter gewissen Umständen diese Empfindungen hervorzubringen. Aber nur sehr wenige und verhältnismäſsig kleine Teile des Körpers sind fähig, derart erregt zu werden, dass sie die Empfindungen des Geschmackes, des Geruches, des Gehörs oder des Sehens verursachen; und nur wenige Stoffe oder gewisse Arten von Schwingungen sind fähig, jene Körperteile so zu erregen, dass diese besonderen Arten von Empfindungen entstehen. Diese sehr begrenzten Teile des Körpers, welche uns zu gewissen Arten von Stoffen in Beziehung setzen, nennen wir Sinnesorgane. Es giebt zwei solcher Organe für das Gesicht, zwei für das Gehör, zwei für den Geruch und eins oder, genauer gesagt, zwei für den Geschmack.

19. Und jetzt, nachdem wir eine kurze Umschau gehalten haben über den Bau des Körpers, die Organe, welche ihn stützen, bewegen und in Beziehung setzen zu der umgebenden Welt, oder mit anderen Worten ihn befähigen, sich in Übereinstimmung mit Einwirkungen von aufsen zu setzen, müssen wir die Mittel betrachten, durch welche dieser wunderbare Apparat in thätiger Ordnung erhalten wird.

Wir haben gesehen, dass alle Thätigkeit Verlust in sich schliefst. Die Thätigkeit des Nervensystems und der Muskeln hat daher den Verbrauch ihrer eigenen oder irgend eines anderen Stoffes zur Folge. Und da der Organismus nichts hervorbringen kann, so muss er die Mittel besitzen, von aufsen das zu erlangen, was er braucht, und das auszusondern, was er verbraucht hat; dass er das thut, haben wir schon im allgemeinen gesehen, der Körper nimmt Nahrung ein und scheidet Auswurfsstoffe aus. Aber wir müssen von der einfachen Thatsache zur Betrachtung des Mechanismus übergehen, durch welchen die Thatsache zu stande kommt. Die Organe, welche die Speisen in Nahrung verwandeln, heifsen Ernährungsorgane; diejenigen, welche die Nahrung durch den ganzen Körper verbreiten, heifsen Organe des Kreislaufes; diejenigen, welche die verbrauchten Stoffe ausführen, heifsen Ausscheidungsorgane.

20. Die Ernährungsorgane sind der Mund, der Schlundkopf, die Schlundröhre, der Magen und die Därme mit ihren Anhängen. Sie haben zuerst die Nahrung aufzunehmen und zu zermalmen. Dann zersetzen sie solche mit chemischen Substanzen, deren sie einen Vorrat besitzen, und die sich ebenso schnell erneuern, als sie verbraucht werden; auf diese Art trennen sie eine Flüssigkeit, die nahrhafte Bestandteile entweder aufgelöst oder schwebend enthält, von dem nicht nährenden Kot oder den Faeces.

21. Ein System von sehr kleinen Röhren mit sehr dünnen Wänden, Capillaren oder Haargefäfse genannt, ist durch den ganzen Organismus verteilt mit Ausnahme der Oberhaut und deren Abkömmlingen, des Epitheliums, der Knorpel und der Zahnsubstanz. Nach beiden Seiten gehen diese Röhren in andere über, welche Schlagadern oder Arterien und Blutadern oder Venen genannt werden; und diese werden immer weiter und gehen zuletzt in das Herz über, ein Organ, welches sich, wie wir gesehen haben, im Brustkasten befindet. Im Leben sind diese

Röhren und die Herzkammer, mit denen sie in Verbindung stehen, mit einer Flüssigkeit angefüllt, die allgemein unter dem Namen Blut bekannt ist.

Die Wände des Herzens bestehen aus Muskeln, die sich rhythmisch, oder in regelmäſsigen Zwischenräumen, zusammenziehen. Mit Hilfe dieser Zusammenziehungen wird das Blut, das sich in den Herzkammern befindet, stoſsweise in die Schlagadern getrieben, aus diesen in die Haarröhrchen, von wo es durch die Blutadern in das Herz zurückkehrt.

Dies ist der Kreislauf des Blutes.

22. Die Flüssigkeit, welche die nahrhaften Bestandteile, die aus dem Verdauungsprozesse hervorgegangen sind, aufgelöst oder schwebend enthält, geht durch die sehr dünne Schicht von weichem durchdringbarem Gewebe, welches die Höhlungen des Verdauungskanals von den Höhlungen der in den Wänden dieses Kanals liegenden unzähligen Haargefäſse trennt, und tritt so in das Blut ein, mit welchem diese Haargefäſse angefüllt sind. Durch den Strom des Kreislaufes weiter getrieben, tritt das so mit nährenden Bestandteilen beladene Blut in das Herz, von wo es weiter in die Organe des Körpers getrieben wird. Diesen Organen führt es die Nahrung zu, mit der es beladen ist; aus ihnen nimmt es deren verbrauchte Stoffe auf und kehrt endlich, mit unnützen und schädlichen Auswurfsstoffen, die sich früher oder später in Wasser, Kohlensäure und Harnstoff verwandeln, durch die Blutadern zurück.

23. Diese Auswurfsstoffe werden vom Blute durch die Ausscheidungsorgane getrennt, deren es drei giebt: die Haut, die Lungen und die Nieren. So verschieden diese Organe auch erscheinen mögen, so sind sie doch nach einem und demselben Plane angelegt. Jedes derselben besteht im Grunde aus einer sehr dünnen Schicht Gewebe, dessen eine Seite frei liegt oder an eine Höhlung stöſst, die mit der Auſsenfläche des Körpers in Verbindung steht, während die andere mit dem Blute, welches gereinigt werden soll, in Berührung ist.

Solche zarte Häute sind aber für Flüssigkeiten sowohl als auch für Gase durchgängig, sei es dass sie unter Druck durch die feinen Poren der Gewebe hindurchgepresst werden, ähnlich wie eine Flüssigkeit durch sogenanntes Filtrierpapier hindurchgeht, sei es auf dem Wege der sogenannten Diffusion, von

welcher noch an einer anderen Stelle mehr die Rede sein wird. So gelangen die Auswurfsstoffe durch die feine Schicht siebartigen Gewebes aus dem Blute heraus und treten an deren freie Oberfläche, von wo sie ihren Ausgang finden.

Jedes dieser Organe stöfst dieselben Bestandteile aus, nämlich Wasser, Kohlensäure und Harnstoff oder sonstige stickstoffhaltige Bestandteile von gleichem Werte.

Aber sie stofsen dieselben in verschiedenen Verhältnissen aus — die Haut giebt viel Wasser, wenig Kohlensäure und noch weniger Harnstoff ab. Die Lungen sondern viel Wasser, viel Kohlensäure und eine äufserst geringe Menge Harnstoff oder Ammoniak (welches eines der Zersetzungsprodukte des Harnstoffes ist) ab. Die Nieren scheiden viel Wasser, viel Harnstoff und sehr wenig Kohlensäure aus.

24. Die Lungen spielen aber eine doppelte Rolle, indem sie nicht nur verbrauchte Auswurfsstoffe ausführen, sondern auch in den Haushalt einen Stoff einführen, der weder Nahrung noch Getränk, aber ebenso wichtig wie diese ist, nämlich Sauerstoff.

Gerade so wie Kohlensäure und Wasser in Form von Wasserdampf aus dem Blut durch die Lungen in die äufsere Luft austreten, so geht auch fortwährend Sauerstoff aus der äufseren Luft in umgekehrter Richtung in das Blut über und wird von diesem (welches, wie wir noch sehen werden, in fortwährender Bewegung ist) allen Teilen des Körpers zugeführt. Wir haben schon bemerkt (§ 5), dass alle Ausscheidungen, welche den Körper verlassen, mehr Sauerstoff enthalten als die Nahrung, welche in den Körper eingeführt wird. In der That findet überall im Körper Oxydation statt; der hierzu notwendige Sauerstoff wird eben vom Blut geliefert. Mit andern Worten: alle Teile des Körpers unterliegen fortwährend einem Verbrennungsprozess, allerdings von etwas anderer Art als die bekannteren Prozesse der Verbrennung von Holz oder dergl.; denn es kommt dabei niemals zu der Erscheinung der Flamme. Aber Wärme entsteht deswegen doch bei dieser Verbrennung wie bei jeder anderen und zwar so viel, dass durch sie die Temperatur des Körpers trotz der fortwährenden Wärmeverluste nach aufsen dauernd auf der Höhe von ungefähr 38° C. erhalten wird.

Aber nicht nur Wärme wird durch diesen Verbrennungsprozess erzeugt; die Arbeit, welche die Muskeln bei ihrer Zu-

sammenziehung leisten, stammt aus derselben Quelle. Gerade so wie die Verbrennung der Kohle in der Dampfmaschine die Arbeit erzeugt, welche das Räderwerk in Bewegung setzt, so liefert auch die Verbrennung von Stoffen innerhalb des Muskels die Kraft, durch welche die Muskeln ihre Zusammenziehung und damit die Bewegung der Körperteile bewirken. Jene Stoffe stammen aber aus der Nahrung. Die Nahrungsbestandteile sind verbrennlich wie Kohle, und sie werden in der That fortwährend im Körper verbrannt unter dem Einfluss des vom Blut zugeführten Sauerstoffes und sie liefern so fortwährend Wärme und Arbeit.

25. Aber diese Ernährungs-, Verteilungs-, Auswurfs- und Verbrennungsprozesse würden schlimmer als unnütz sein, wenn sie nicht in genauem Verhältnisse zu einander erhalten würden. Wenn der Stand des physiologischen Gleichgewichtes aufrecht erhalten werden soll, muss nicht nur die Menge der eingenommenen Nahrung wenigstens der Menge der verbrauchten Stoffe entsprechen, sondern die Nahrung muss auch mit gehöriger Geschwindigkeit dorthin geleitet werden, wo infolge des Verbrauchs ein Mangel an Nahrungsstoff eintritt.

Das Kreislaufssystem ist daher sozusagen das Verpflegungsamt der physiologischen Armee. Es leistet zugleich aber noch etwas anderes. Obgleich der Verbrennungsprozess in den verschiedenen Teilen des Körpers sehr ungleich sein kann, so wirkt doch das Blut, indem es fortwährend von wärmeren Stellen zu kälteren oder von kälteren zu wärmeren strömt, so ausgleichend, dass fast alle Teile des Körpers nahezu auf der gleichen Temperatur erhalten werden. Nur die äufsere Hautbedeckung macht hiervon eine Ausnahme, weil hier der Wärmeverlust an die Umgebung in der Regel so stark ist, dass trotz der Wärmezufuhr durch das Blut die Haut um einige Grad kälter ist als das Innere. Dieser Wärmeverlust hängt aber sehr von der wechselnden Temperatur der Umgebung ab. Und wenn trotzdem die eigene Wärme des lebenden Körpers immer nahezu auf der gleichen Höhe von 38° erhalten wird, so rührt dies zum gröfsten Teil davon her, dass die Strömung des Blutes durch die Haut sich den wechselnden Verhältnissen der Umgebung anpasst.

In anderen Worten: ein verbindendes und regulierendes Organ muss zu den schon erwähnten Organen hinzukommen.

Dieses ist aber das Nervensystem, welches nicht nur die schon beschriebene Funktion ausübt, uns fähig zu machen, unseren Körper zu bewegen und uns zu der uns umgebenden Welt in Beziehung zu setzen; sondern es lässt auch das Verlangen nach Nahrung zu unserem Bewusstsein kommen, befähigt uns, nahrhafte von nicht nahrhaften Stoffen zu unterscheiden und die Muskeltäthigkeit anzuwenden, die notwendig ist, um zu erfassen, zu töten und zu kochen; es führt die Hand zum Munde und regiert die Bewegungen der Kinnbacken und des Verdauungskanals. Durch dasselbe wird die Thätigkeit des Herzens richtig abgemessen und die Durchmesser der das Blut verteilenden Röhren geregelt, und dadurch mittelbar die Verbrauchs- und Auswurfsvorgänge bestimmt. Doch werden diese noch unmittelbarer durch andere Thätigkeiten des Nervensystems beeinflusst.

26. Die verschiedenen Funktionen, die bisher kurz angedeutet worden sind, machen den gröfsten Teil dessen aus, was die Lebensthätigkeit des menschlichen Körpers genannt wird, und so lange diese ausgeübt wird, sagt man der Körper lebt. Das Aufhören der Ausübung dieser Thätigkeiten ist das, was gewöhnlich Tod genannt wird. Aber in Wahrheit giebt es verschiedene Arten des Todes, welche wir vorerst als die beiden Hauptarten des örtlichen und des allgemeinen Todes unterscheiden wollen.

27. Der örtliche Tod erfolgt in jedem Moment und in den meisten, wenn nicht allen Teilen des Körpers. Einzelne Zellen der Epidermis und des Epitheliums sterben fortwährend ab und werden abgestofsen, um durch andere ersetzt zu werden, die wiederum später abgestofsen werden. Dasselbe geschieht mit den Blutkörperchen und wahrscheinlich mit noch vielen anderen Elementen der Gewebe.

Diese Form örtlichen Todes ist für uns selbst nicht fühlbar und zur angemessenen Erhaltung des Lebens notwendig. Aber zeitweilig tritt örtlicher Tod auf einem gröfseren Umfange ein, als Folge einer Verletzung oder einer Krankheit. Eine Verbrennung z. B. kann plötzlich einen gröfseren oder kleineren Teil der Haut töten; oder Teile des Hautgewebes können absterben, wie dies mit dem Pfropfe der Fall ist, welcher sich in der Mitte eines Blutgeschwürs bildet; oder ein ganzes Glied kann sterben und die merkwürdige Erscheinung des brandigen Absterbens bieten.

Dem örtlichen Tode einiger Gewebe folgt deren Erneuerung.

Nicht nur alle Formen der Epidermis und des Epitheliums, sondern Nerven, Bindegewebe, Knochen und einigermaſsen auch Muskeln können so erneuert werden, selbst in groſsem Umfange. Aber Knorpel, die zerstört sind, werden nicht wieder hergestellt.

28. Der allgemeine Tod tritt in zweierlei Art auf, als Tod des ganzen Körpers und Tod der Gewebe. Unter ersterem versteht man das vollständige Aufhören der Thätigkeiten des Gehirns, der Kreislauf- und Atmungsorgane; unter letzterem das vollständige Verschwinden der Lebensthätigkeit in den feinsten Bestandteilen des Körpers. Wenn Tod eintritt. stirbt der Körper als ein Ganzes zuerst, der Tod der Gewebe tritt oft erst nach einem längeren Zeitabschnitte ein.

Daher kommt es, dass man die Muskeln eines hingerichteten Verbrechers, kurz nachdem der Tod, allgemein gesprochen. eingetreten ist, durch Anwendung geeigneter Mittel sich zusammenziehen lassen kann. Die Muskeln sind noch nicht tot, trotzdem es der Mann ist.

29. Die Arten, in welchen der Tod eintritt, scheinen bei erster Betrachtung sehr verschieden zu sein. Wir sprechen von natürlichem Tode beim Alter oder bei einigen der zahlreichen Krankheitsformen; von gewaltsamem Tode beim Verhungern oder bei den unzähligen Arten von Verletzung oder Vergiftung. Aber in Wirklichkeit ist die unmittelbare Todesursache immer das Aufhören der Thätigkeiten eines von drei Organen: des Hirnrückenmarknervencentrums, der Lungen oder des Herzens.

So kann ein Mann augenblicklich getötet werden durch die Verletzung an einem Teile des Gehirns, welcher verlängertes Mark (*medulla oblongata,* vgl. Vorl. XI) heiſst, wie sie durch Hängen oder Genickbrechen hervorgebracht werden kann.

Oder der Tod kann die unmittelbare Folge von Erstickung durch Erwürgen, Erhängen oder Ertrinken sein, oder in anderen Worten durch die Hemmung der Atmungsvorgänge.

Oder endlich erfolgt der Tod sogleich, wenn das Herz aufhört, das Blut im Kreise umzutreiben. Diese drei Organe, das Gehirn, die Lungen und das Herz, werden deshalb etwas phantastisch der Lebensdreifuſs genannt.

Im letzten Grunde jedoch hat das Leben nur zwei Füſse, auf denen es ruht, die Lungen und das Herz; denn der Tod durch das Gehirn ist immer erst die mittelbare Folge der Wir-

kung, welche die Verletzung dieses Organs auf die Lungen oder das Herz ausübt. Die Thätigkeiten des Gehirns hören auf, wenn entweder die Atmung oder der Kreislauf zu Ende sind. Aber wenn der Blutumlauf und die Atmung künstlich unterhalten werden, so kann man das Gehirn wegnehmen, ohne dadurch den Tod zu verursachen. Andererseits, wenn das Blut nicht von seiner Kohlensäure befreit wird, kann dessen Umlauf nicht das Leben erhalten; und wiederum, wenn der Kreislauf aufhört, genügt die Berührung zwischen der Luft und dem Blute in den Lungen nicht, um den Tod zu verhindern.

30. Mit dem Aufhören des Lebens bleiben die stets wirksamen Kräfte der unorganischen Welt nicht mehr die Diener des Körpergebäudes, wie sie es beim Leben waren, sondern werden dessen Meister. Sauerstoff, der Diener des lebendigen Organismus, wird der Meister des toten Körpers. Denn während er bis dahin notwendige Bedingung des Lebens war, so wurden doch die Zerstörungen, welche er dabei fortwährend an den Körperbestandteilen anrichtete, immer wieder durch neue Zufuhr von Stoffen ausgeglichen. Sobald aber das nicht mehr der Fall ist, gehen Atom nach Atom die zusammengesetzten Teilchen der Gewebe in Stücke und werden zu einfacheren sauerstoffreicheren Substanzen umgeformt, bis die Weichteile hauptsächlich in Form von Kohlensäure, Ammoniak, Wasser und lösbaren Salzen aufgelöst sind, und nur die Knochen und Zähne allein übrig bleiben. Aber selbst diese dichten, erdhaltigen Teile sind nicht im stande, einen dauernden Widerstand den Angriffen von Wasser und Luft zu bieten. Früher oder später geht die tierische Grundlage, die die Salze zusammenhält, auseinander und löst sich auf — die festen Bestandteile werden bröcklich und zerfallen zu Staub.

Endlich lösen auch sie sich auf und werden im Wasser der Erdoberfläche verteilt, während die gasigen Produkte der Auflösung in der Atmosphäre zerstreut werden.

Es ist unmöglich, mit irgend einem Grade von Gewissheit diesen Wanderungen zu folgen, die wechselnder und ausgedehnter sind, als diejenigen waren, die von den alten Weisen, welche an die Doktrin der Seelenwanderung glaubten, ersonnen worden sind; aber die Wahrscheinlichkeit besteht, dass früher oder später einige, wenn nicht alle der zerstreuten Atome, zu neuen Lebensformen gesammelt werden.

Die Sonnenstrahlen, die die Pflanzenwelt durchdringen, vereinigen einige der wandernden Atome von Kohlensäure, Wasser, Ammoniak und Salzen zu der Herstellung von Pflanzen. Die Pflanzen werden von den Tieren verschlungen, Tiere verschlingen einander, der Mensch verschlingt sowohl Pflanze als Tier; und so ist es leicht möglich, dass Atome, die einst einen wesentlichen Teil vom geschäftigen Gehirne des Julius Caesar ausmachten, jetzt in die Zusammensetzung von Caesar, dem Neger in Alabama, oder von Caesar, dem Haushunde irgend eines englischen Haushaltes, eingehen. Und so ist nüchterne Wahrheit in den Worten, die Shakespeare dem Hamlet in den Mund legt:

„Der grofse Caesar, tot und Lehm geworden,
Verstopft ein Loch wohl vor dem rauhen Norden.
O dass die Erde, der die Welt gebebt,
Vor Wind und Wetter eine Wand verklebt.“

ZWEITE VORLESUNG.

Das Gefäfssystem und der Kreislauf.

1. Fast alle Teile des Körpers enthalten Gefäfse in mehr oder minder reicher Zahl; d. h. sie werden von sehr kleinen, sehr eng aneinander liegenden Kanälen durchsetzt, welche unter einander zusammenhängen; sie bilden somit ein engmaschiges Netzwerk und verleihen den Teilen ein schwammiges Gefüge. Diese Kanäle, oder besser Röhren, sind mit deutlichen, aber sehr zarten Wänden versehen, die aus einer scheinbar strukturlosen Haut bestehen (Fig. 3 A, a). In Wahrheit aber ist jene zarte Haut aus einzelnen, miteinander verklebten Zellen zusammengesetzt, deren jede einen kleinen ovalen Körper, den Zellkern, einschliefst (vgl. Vorl. XII, § 2).

Diese Röhren sind die Haargefäfse. Im Durchmesser schwanken sie zwischen 0,007 und 0,014 mm; sie sind zuweilen in Schlingen angeordnet, zuweilen in langgestreckte, zuweilen in weite, zuweilen in sehr enge Maschen. Die Durchmesser dieser Maschen, oder in anderen Worten die Zwischenräume zwischen den Haargefäfsen, sind manchmal kaum weiter als diejenigen eines Gefäfses, zuweilen auch mehrere Male so weit (vgl. Fig. 16, 20, 32, 33 u. 37). Diese Zwischenräume werden von dem Gewebe ausgefüllt, in welchem die Haargefäfse liegen, so dass die letzten anatomischen Bestandteile jedes Teiles des Körpers, genau gesprochen, aufserhalb der Gefäfse oder extravascular gelegen sind (vgl. Fig. 3 A).

Aber es giebt gewisse Teile, die in einem anderen und weiteren Sinne auch extravascular oder gefäfslos genannt werden. Diese sind die Epidermis, das Epithelium, die Nägel und Haare, die Zahnsubstanz und bis zu einem gewissen Grade die Knorpel, die eine beträchtliche Dicke und Länge erreichen können und

dennoch keine Gefäſse enthalten. Aber da wir gesehen haben, dass eigentlich alle Gewebe extravascular sind, unterscheiden diese sich nur gradweise von den übrigen. Der Umstand, dass alle Gewebe auſserhalb der Gefäſse liegen, verhindert keineswegs, dass sie von der Flüssigkeit, welche innerhalb der Gefäſse ist, bespült werden. In der That sind die Wände der Haargefäſse so auſserordentlich dünn, dass ihr flüssiger Inhalt leicht durch die feine Haut dringt, aus welcher dieselben bestehen, und die Gewebe befeuchtet, in welchen sie liegen (vgl. Vorl. I. § 23).

2. Ein Teil der beschriebenen Haargefäſse enthält im Leben die rote Flüssigkeit, Blut. Auſser diesen giebt es noch ähnliche enge Röhren, welche gleichfalls Capillaren genannt werden, welche aber kein Blut, sondern eine blasse, wässrige oder auch milchige Flüssigkeit, Lymphe oder Chylus genannt, enthalten. Von diesen wird später noch die Rede sein. Die Haargefäſse, welche Blut enthalten, setzen sich nach beiden Seiten in etwas breitere Röhren mit dickeren Wänden fort; dies sind auf der einen Seite die kleinsten Schlagadern (Arterien), auf der anderen die kleinsten Blutadern (Venen), und beide Arten von Gefäſsen hängen wieder mit gröſseren der gleichen Art zusammen.

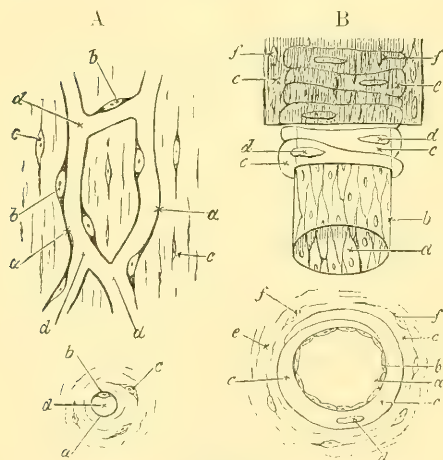


Fig. 3.

Die einfache Thatsache, dass die Wände dieser Gefäſse dicker sind als jene der Haargefäſse, bedingt einen erheblichen Unterschied zwischen den Haargefäſsen einer- und den kleinen Schlag- und Blutadern andererseits; denn

A. **Schematische Darstellung von Haargefäſsen oder Capillaren, von der Fläche und im Durchschnitt gesehen:** *a* Wand des Haargefäſses; *b* Kerne derselben; *c* Kerne des Bindegewebes, in welchem die Capillaren liegen; *d* der Hohlraum des Gefäſsrohres.

B. **Schematische Darstellung einer kleinen Arterie:** *a* Epithel; *b* sogenannte Grundmembran; *c* kreisförmig angeordnete glatte Muskelfasern, jede mit einem Kerne *d*; *e* bindegewebige Gefäſsscheide mit ihren Kernen *f*.

die Wände der letzteren sind infolgedessen viel weniger durchdringbar für Flüssigkeiten, und das Durchfeuchten der Gewebe, das durch die Haarröhrchen geschieht, kann durch sie nicht ausgeführt werden.

Der wichtigste Unterschied zwischen diesen Gefäſsen beruht jedoch auf dem Umstande, dass ihre Wände nicht nur dicker, sondern auch zusammengesetzter sind, indem sie aus verschiedenen Schichten bestehen, von denen wenigstens eine aus Muskelfasern gebildet ist. Die Zahl, Anordnung und Beschaffenheit dieser Schichten ist je nach der Gröſse der Gefäſse verschieden, ist auch in den Venen eine andere als in den Arterien, wenngleich die kleinsten Arterien und Venen einander sehr ähnlich sind.

In den kleinsten Arterien finden wir zunächst eine sehr zarte Auskleidung von Zellen, die eine Art von Epithel darstellen (Fig. 3 B, a). Sie sind die unmittelbare Fortsetzung jener Zellen, welche für sich allein die Wand der Capillaren bilden (s. oben § 1). Nach auſsen von diesen, durch eine Art strukturloser Membran geschieden, welche in Fig. 3 B, b als einfache Linie erscheint, liegt eine Schicht von sogenannten glatten Muskelfasern (vgl. Vorl. XII), aus platten, spindelförmigen Fasern bestehend, welche ringförmig um das Gefäſs angeordnet sind (Fig. 3 B, c). Nach auſsen von diesen endlich liegt eine Hülle von faserigem Bindegewebe (Fig. 3 B, e).

In den kleinsten Arterien ist nur eine Lage von Muskelfasern vorhanden, welche, wie gesagt, das Gefäſs ringförmig umgeben. Aber in den gröſseren Arterien giebt es mehrere Lagen solcher ringförmiger Muskelfasern, die untereinander durch faseriges und elastisches Gewebe verbunden sind; doch ist bei den gröſseren Gefäſsen die Menge des Muskelgewebes verhältnismäſsig geringer als bei den kleineren.

Nun besitzen die glatten Muskelfasern ebenso wie die Muskeln überhaupt die Fähigkeit, sich zusammenzuziehen, das heiſst kürzer und dicker zu werden (vgl. Vorl. I, § 13). Und wenn sich diese ringförmig um das Gefäſs angeordneten Muskelfasern zusammenziehen, verengern sie natürlich den Durchmesser des Gefäſses, gerade als wenn es eingeschnürt würde; ja diese Verengerung kann in einzelnen Fällen so weit gehen, dass die Lichtung des Gefäſses ganz verschwindet, und dass es für den Blutstrom ganz versperrt wird.

Der Grad der Zusammenziehung dieser Muskeln der kleinen Arterien und Venen wird wie derjenige anderer Muskeln durch ihre Nerven geregelt; oder in anderen Worten, die Nerven, welche die Gefäfse versorgen, bestimmen, ob der Durchgang durch diese Röhren weit und frei, oder eng und versperrt sein soll. Während also die kleinen Arterien und Venen nicht die Fähigkeit haben, wie die Haargefäfse die Gewebe unmittelbar mit durchschwitzender Ernährungsflüssigkeit zu versorgen, haben sie statt dessen die Aufgabe, den Zufluss der Flüssigkeit zu den Haargefäfsen selbst zu regeln. Die Zusammenziehung oder Ausdehnung der Arterien, welche eine Reihe Haargefäfse versorgen, sind demnach dem Auf- und Niederlassen der Schleusen bei Bewässerungskanälen zu vergleichen.

3. Die kleineren Arterien sind Zweige gröfserer Stämme welche ihrerseits wieder von gröfseren entspringen, und ebenso vereinigen sich mehrere kleine Venen zu gröfseren Stämmen, so dass zuletzt nur wenige arterielle und venöse Hauptstämme mit dem Herzen zusammenhängen.

Wir haben gesehen, dass sich die kleinsten Arterien und Venen im Bau gleichen, aber die gröfseren Arterien und Venen sind sehr verschieden von einander. Denn die gröfseren Arterien haben so dicke und feste Wände, dass sie nicht zusammenfallen, wenn sie leer sind; und diese Dicke und Festigkeit rührt von dem Umstande her, dass nicht nur die Muskelschicht sehr dick ist, sondern dass auch noch aufserdem mehrere Schichten einer sehr elastischen Fasersubstanz in die Schichten der Muskelsubstanz eingelagert sind. Die Wand der grofsen Arterien ist infolgedessen so elastisch, dass wenn sie auseinander gezerrt und wieder losgelassen wird, sie zusammenschnurrt und wieder zu ihrer ursprünglichen Ausdehnung zurückkehrt wie ein Stück Kautschuk.

Die gröfseren Venen hingegen enthalten nur wenig elastisches und Muskelgewebe. Daher sind ihre Wände dünn und fallen zusammen, wenn sie leer sind.

Dies ist der eine grofse Unterschied zwischen den gröfseren Arterien und Venen; der andere ist das Vorhandensein von sogenannten Klappen in einem grofsen Teile der Venen, besonders in denjenigen, welche in den muskulösen Körperteilen liegen. In den grofsen Venenstämmen jedoch kommen keine

Klappen vor, ebenso nicht in den kleinsten Zweigen und in allen Verzweigungen der Pfortader, der Lungenvenen und der Gehirnvenen.

4. Diese Klappen sind taschenförmige Falten der inneren Venenwand. Der Boden der Tasche ist nach den Haargefäſsen hin gerichtet, aus welchen die Vene gespeist wird. Der offene Rand der Tasche ist nach der anderen Seite oder dem Herzen zugewendet. Die Thätigkeit dieser Taschen besteht darin, den Durchgang irgend einer Flüssigkeit vom Herzen nach den Haargefäſsen zu verhindern, währenddem sie den Durchgang von Flüssigkeit nach der entgegengesetzten Richtung gestatten (Fig. 4 b).

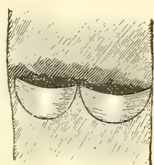


Fig. 4 a.

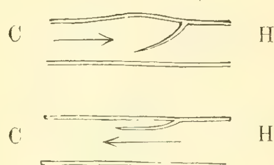


Fig. 4 b.

Schematische Durchschnitte durch Venen mit Klappen. In der oberen flieſst das Blut in der Richtung des Pfeiles nach dem Herzen zu, in der unteren bläht das umgekehrt flieſsende Blut die Klappe auf und verschlieſst sich so selbst den Weg. *C* Die Capillarenseite, *H* Herzseite. — *A* Eine der Länge nach aufgeschlitzte Vene, um ein Paar solcher taschenförmiger Klappen zu zeigen.

Die Thätigkeit einiger dieser Klappen kann sehr leicht am lebenden Körper nachgewiesen werden. Wenn der Arm entblöſst wird, kann man unter der Haut blaue Adern von der Hand nach dem Oberarme laufen sehen. Der Durchmesser dieser Venen nimmt ziemlich gleichmäſsig nach der Hand zu ab, so lange als der Blutstrom, der in denselben von der Hand zum Oberarme läuft, ununterbrochen ist.

Aber wenn ein Finger auf dem oberen Teile einer dieser Venen mit Druck aufgesetzt und dann an ihr entlang nach unten geführt wird, so dass er das in ihr enthaltene Blut nach unten zurückdrängt, so werden verschiedene Anschwellungen wie kleine Knoten an mehreren Punkten in der Länge der Vene erscheinen, wo vorher nichts derart sichtbar war. Diese Anschwellungen sind einfach Erweiterungen der Venenwand, verursacht durch den Druck des Blutes auf die Wand oberhalb einer Klappe, welche sich dem Rückflusse des Blutes widersetzt. Sobald der Druck nach rückwärts aufhört, flieſst das Blut wieder vorwärts, die Klappe legt sich wieder an die Venenwand an, bietet dem

Strome ferner kein Hindernis, und die durch den Druck verursachte Ausdehnung verschwindet (Fig. 4).

Die einzigen Arterien, die mit Klappen versehen sind, sind die Hauptstämme — die grofse Herzarterie oder Aorta und die Lungenarterie — welche vom Herzen entspringen, und welche wir daher am besten zugleich mit diesem letzteren Organ betrachten werden.

5. Alle Teile des Körpers, welche Bluthaargefäfse besitzen, enthalten aufser dem Haargefäfsnetzwerke und den damit verbundenen Stämmen, welche das Blutgefäfssystem ausmachen, noch eine andere Gattung Haargefäfse, nämlich die sogenannten lymphatischen, welche mit jenen des Blutgefäfssystems vermischt vorkommen, aber nicht unmittelbar mit ihnen in Verbindung stehen und sich aufserdem noch von den Blutgefäfsen dadurch unterscheiden, dass sie nur nach einer Seite hin mit gröfseren Gefäfsen zusammenhängen. Das heifst, sie gehen nur in Stämme über, welche Flüssigkeit von ihnen wegführen, während keine grofsen Gefäfse vorhanden sind, welche ihnen irgend etwas zuführen.

Diese Stämme sind auch darin den kleinen Venen ähnlich, dass sie reichlich mit Klappen versehen sind, die den Durchgang von Flüssigkeit in der Richtung von den Lymphcapillaren her gestatten, die entgegengesetzt gerichtete Strömung jedoch verhindern. Aber die lymphatischen Stämme unterscheiden sich dadurch von den Venen, dass sie sich nicht wie diese zu immer gröfseren Stämmen vereinigen, welche dadurch einen immer wachsenden Durchmesser erhalten und so einen ununterbrochenen Strom bis zum Herzen hin gestatten.

Im Gegenteile, sie behalten ziemlich immer denselben Durchmesser und von Zeit zu Zeit gehen sie über und verzweigen sich in rundliche Körper, Lymphdrüsen genannt, von welchen wieder neue Lymphgefäfse ausgehen (Fig. 5). In diesen Drüsen sind die lymphatischen Haargefäfse und Strombahnen dicht verschlungen mit Bluthaargefäfsen.

Früher oder später jedoch ergiefst der gröfste Teil der kleinen Lymphstämme seinen Inhalt in eine Röhre, die ungefähr so dick ist wie eine Krähenfeder, an der Vorderseite der Wirbelsäule liegt und Brustlymphstamm genannt wird. Dieser mündet an der Halswurzel in die vereinigten Stämme der

grofsen Adern, welche das Blut von der linken Seite des Kopfes und vom linken Arme zurückbringen (Fig. 6). Die übrigen Lymphgefäfse sind durch einen gemeinschaftlichen Kanal mit der entsprechenden Ader der rechten Seite verbunden.

Wo die Hauptströme des Lymphsystems in die Venen übergehen, sind Klappen angebracht, die den Durchgang der Flüssigkeit nur von den Lymphgefäfsen zu den Venen gestatten. Daher sind die Lymphgefäfse gleichsam ein Anhängsel des Venensystems; doch kann wegen dieser Klappen die in den Venen enthaltene Flüssigkeit nicht in die Lymphgefäfse gelangen, während andererseits der Übertritt der Flüssigkeit aus den Lymphgefäfsen in die Venen auf jede Weise erleichtert ist. In der That muss infolge der zahlreichen Klappen in den Lymphgefäfsen jeder Druck auf deren Wände, da er nicht im stande ist, die Flüssigkeit rückwärts zu treiben, mehr oder weniger dazu beitragen, sie vorwärts den Venen zuzutreiben.

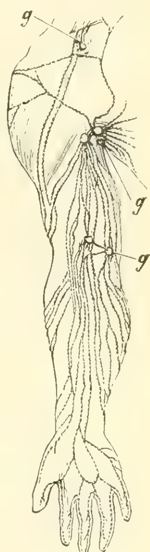


Fig. 5.

Lymphgefäfse der Vorderseite des rechten Armes. *g* Lymphdrüsen od. Ganglien, wie sie auch manchmal genannt werden, nicht zu verwechseln mit Nervenganglien.

6. Der untere Teil des Brustlymphstammes ist weiter und heifst Sammelgefäfs des Chylus oder Chyluscisterne (a, Fig. 6). In der That nimmt diese Erweiterung die Lymphgefäfse der Baucheingeweide auf, welche, trotzdem sie sich nicht wesentlich von den anderen Lymphgefäfsen unterscheiden, Milchsaft- oder Chylusgefäfse heifsen, weil sie sich nach einer viel Fett enthaltenden Mahlzeit mit einer milchigen Flüssigkeit füllen, welche Chylus genannt wird. Die Milchsaftgefäfse oder Lymphgefäfse des Dünndarmes bilden nicht nur Verästlungen in dessen Wänden, sondern senden auch blindendigende Fortsetzungen in die kleinen sammetartigen Auswüchse, Zotten genannt, mit welchen die Schleimhaut dieses Darmteiles versehen ist (vgl. Vorl. VI). Die Stämme, welche in das Netzwerk münden, liegen im Gekröse oder Mesenterium (die Haut, welche den Dünndarm an die Rückseite des Bauches anheftet), und die Drüsen, durch welche diese Stämme führen, werden

deshalb Gekrösdrüsen oder Mesenterialdrüsen genannt.

7. Es wird wünschenswert sein, jetzt eine allgemeine Übersicht zu geben über die Anordnung aller dieser verschiedenen Gefäfse und deren Beziehung zum grofsen Centralorgan des Gefäfssystems, dem Herzen (vgl. Fig. 7, a. S. 32).

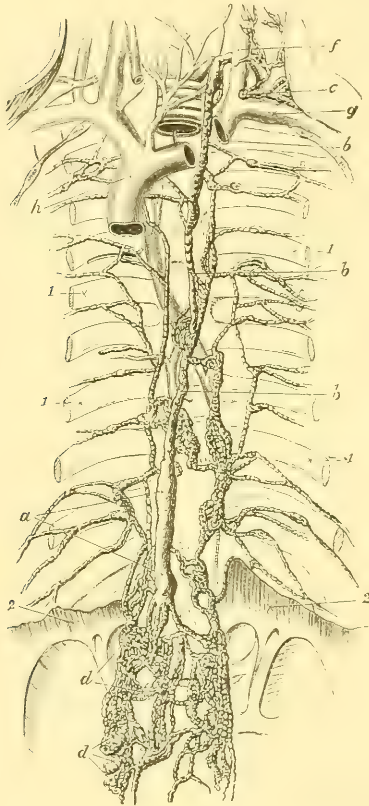


Fig. 6.

Alle Venen von jedem Teile des Körpers, die Lunge, das Herz und gewisse Baucheingeweide ausgenommen, vereinigen sich zu gröfseren Venen, welche früher oder später in einen von zwei grofsen Stämmen (Fig. 7, VCS, VCI) münden, die untere und die obere Hohlvene, *vena cava superior* und *inferior* genannt, welche in das obere oder breitere Ende der rechten Herzhälfte einmünden.

Alle Arterien von jedem Teile des Körpers, mit Ausnahme der Lungen, sind mehr oder weniger entfernte Zweige eines grofsen Stammes, Aorta genannt (Fig. 7, Ao), welche von der unteren Abteilung der linken Hälfte des Herzens ausgeht.

Die Arterien der Lungen sind

Der Brustlymphstamm *(Ductus thoracicus)*. Der Brustlymphstamm nimmt die Mitte der Figur ein, er liegt auf der Wirbelsäule, zu deren Seiten Teile der Rippen (1) sichtbar sind. *a* Das Sammelgefäfs des Chylus; *b* der Brustlymphstamm, welcher sich bei *c* in die Vereinigungsstelle der linken Kopfvene (*f*) und der linken Armvene (*g*) zur sogenannten linken namenlosen Vene ergiefst; sie ist durchnitten worden, um den hinter ihr liegenden Lymphstamm sehen zu lassen; *e* die rechte namenlose Vene, gebildet durch den Zusammenfluss der rechten Kopf- und Armvene; *d* Lymphdrüsen, in der Lendengegend und zwischen den Rippen liegend; *h* die obere Hohlvene, aus der Vereinigung der rechten und linken namenlosen Vene entstanden.

Zweige eines grofsen Stammes (Fig. 7, P A), welcher vom unteren Teile der rechten Herzhälfte entspringt. Die Venen der Lungen hingegen münden mit vier Stämmen in den oberen Teil der linken Seite des Herzens (Fig. 7, P V).

Also die Venenstämme münden in den oberen Teil jeder Hälfte des Herzens — diejenigen des Körpers im allgemeinen in die rechte Seite, jene der Lungen in den oberen Teil der linken Seite; während die Arterienstämme von den unteren Hälften jeder Seite des Herzens entspringen — diejenigen des Körpers im allgemeinen aus der linken Seite und jene für die Lungen aus der rechten Seite.

Daraus folgt, dass die grofse Schlagader oder Arterie des Körpers und die grofsen Blutadern oder Venen des Körpers mit entgegengesetzten Seiten des

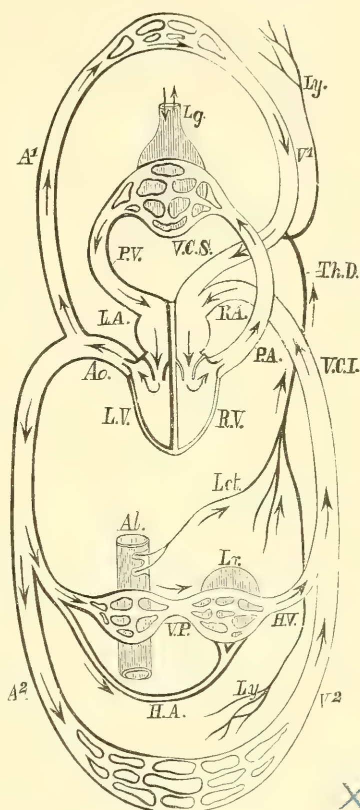


Fig. 7.

Schema des Herzens und der Gefäfse, mit Angabe der Blutströmung, von hinten gesehen, so dass die linke Seite der Zeichnung auch der linken Körperhälfte entspricht. *LA* Linker Vorhof; *LV* linke Herzkammer; *Ao* Aorta; A^1 Arterien der oberen Körperhälfte; A^2 Arterien der unteren Körperhälfte; *HA* Leberarterie, welche die Leber mit einem Teile ihres Blutes versorgt; V^1 Venen des oberen Körperabschnittes; V^2 Venen des unteren Körperabschnittes; *VP* Pfortader, welche die Leber vorzugsweise mit Blut versorgt; *HV* Lebervene, welche das Leberblut abführt; *VCI* untere Hohlvene; *VCS* obere Hohlvene; *RA* rechter Vorhof; *RV* rechte Herzkammer; *PA* Lungenarterie; *Lg* Lunge; *PV* Lungenvenen; *Lct* Milchsaftgefäfse; *Ly* Lymphgefäfse; *ThD* Brustlymphstamm; *Al* Verdauungskanal; *Lr* Leber; die Pfeile deuten die Richtung der Blut-, Lymph- und Chylusströmung an. Die Gefäfse, welche arterielles Blut enthalten, haben dunkle Konturen, während die, welche venöses Blut führen, helle Konturen haben.

Herzens verbunden sind; und die große Arterie der Lungen und die großen Venen der Lungen auch mit entgegengesetzten Seiten dieses Organs. Andererseits münden die Venen des Körpers in dieselbe Seite des Herzens wie die Arterie der Lungen, und die Venen der Lungen münden in dieselbe Seite des Herzens wie die Arterien des Körpers.

Die Arterien, welche in die Haargefäße der Herzsubstanz übergehen, heißen Kranzarterien und entspringen wie die anderen Arterien aus der Aorta, aber gleich an deren Ursprunge, dicht unter den halbmondförmigen Klappen.

Die Kranzvene hingegen, welche aus der Verbindung der kleinen aus den Haargefäßen des Herzens entspringenden Venen gebildet wird, mündet in keine der beiden Hohlvenen, sondern ergießt das in ihr enthaltene Blut unmittelbar in diejenige Abteilung des Herzens, in welche die Hohlvenen münden — das heißt also in die rechte obere Abteilung (vgl. Fig. 14b, S. 40).

Die Baucheingeweide, deren Venen, wie oben bemerkt wurde, nicht den gewöhnlichen Lauf nehmen, sind der Magen, die Därme, die Milz und die Bauchspeicheldrüse. Alle Venen dieser Organe vereinigen sich zu einem einzigen Stamme, welcher die Pfortader *(vena portae)* genannt wird, welcher aber nicht unmittelbar in die untere Hohlvene mündet. Er verläuft vielmehr zur Leber, tritt in die Substanz dieses Organs ein und verteilt sich innerhalb derselben in eine große Zahl von Haargefäßen, welche sich in der ganzen Leber verbreiten und überall mit denjenigen letzten Ästchen zusammenhängen, in welche die Leberarterie (Fig. 7, HA) sich verzweigt. Aus dem gemeinschaftlichen Haargefäßnetzwerke beider Gefäße entspringen wiederum Venen und diese vereinigen sich zuletzt zu einem einzigen Stamme, der Lebervene (Fig. 7, HV), welche die Leber verläßt, um in die untere Hohlvene zu münden. Die Pfortader ist die einzige große Vene des Körpers, welche das in ihr enthaltene Blut nicht unmittelbar zum Herzen zurückführt, sondern sich zum zweiten Male verzweigt und mit den Haargefäßen eines Organs in Verbindung steht, wie es sonst nur die Arterien thun.

. 8. Das Herz (Fig. 8 und 10), zu welchem hin wir nun alle Gefäße des Körpers mittelbar oder unmittelbar verfolgt haben, ist ein Organ, dessen Größe gewöhnlich nach einer rohen Schätzung der Faust derselben Person gleich ist. Am Herzen

unterscheidet man ein breites, nach oben, hinten und etwas nach der rechten Seite gekehrtes Ende, welches die Grundfläche oder Basis genannt wird, und ein spitzes, nach unten und vorne und nach der linken Seite gewandtes Ende, welches die Herzspitze oder Apex heifst; letzteres liegt gerade hinter dem Zwischenraume zwischen der fünften und sechsten Rippe.

Das Herz liegt zwischen beiden Lungen, der Vorderseite der Brust näher als der hinteren, und ist in einer Art doppelten Beutels eingeschlossen, Herzbeutel oder Pericardium genannt. Die eine Hälfte des doppelten Sackes ist mit dem Herzen selbst verwachsen und bildet eine dünne Schicht

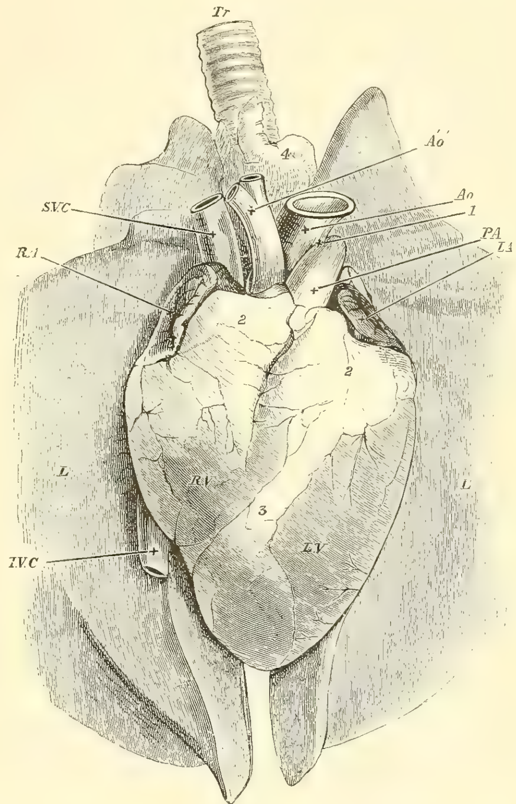


Fig. 8.

Herz von einem Schafe, mitsamt den Lungen herausgenommen. Der Herzbeutel ist aufgeschnitten und entfernt. *RA* Rechtes Herzohr (Teil des rechten Vorhofes); *LA* linkes Herzohr; *RV* rechter Ventrikel; *SVC* obere Hohlvene; *IVC* untere Hohlvene; *PA* Lungenarterie; *Ao* Aorta; *A'o'* sogenannte *Arteria anonyma*, welche aus der Aorta entspringt und sich in die Kopfschlagader *(Art. carotis)* und die Schlüsselbeinschlagader *(Art. subclavia)* teilt; *L* Lunge; *Tr* Trachea oder Luftröhre; 1 ein fester Strang, welcher als Rückstand einer früheren Verbindung zwischen der Aorta und der Lungenarterie zurückgeblieben ist; 2 Fett, welches die Basis der Herzkammern umgiebt und die Vorkammern zum gröfsten Teile verdeckt; 3 Fettstreifen an der Grenze zwischen rechter und linker Kammer; 4 Fettlager an dem Ende der Luftröhre.

auf seiner äufseren Oberfläche. An der Basis des Herzens geht diese Hälfte des Sackes auf die grofsen Gefäfse über, welche aus dem Herzen entspringen oder in dasselbe münden, und setzt sich dann in der anderen Hälfte des Sackes fort, welcher das Herz und die angewachsene Hälfte locker umhüllt. Zwischen den beiden Schichten des Herzbeutels besteht daher eine vollständig geschlossene, enge Höhle, welche mit einem Epithelium ausgekleidet ist und in ihrem Innern eine geringe Menge einer klaren Flüssigkeit absondert.*

Die äufsere Schicht des Herzbeutels ist unten fest mit der oberen Fläche des Zwerchfelles verwachsen. Aber man kann nicht sagen, dass das Zwerchfell dem Herzen als Stütze diene, zumal da die grofsen Gefäfse, welche aus ihm entspringen oder in dasselbe eintreten, und zum gröfsten Teile von der Basis nach oben gehen, es auf seinem Platze schwebend erhalten.

Das Herz ist also nach aufsen von einer Schicht des Herzbeutels bekleidet. Inwendig enthält es zwei grofse Höhlen oder Abteilungen, wie wir sie oben genannt haben, die vollständig durch eine feste Wand

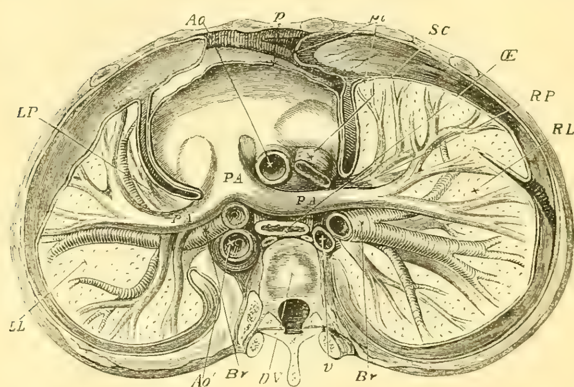


Fig. 9.

Querschnitt durch die Brust samt Herz und Lungen. *DV* Rückenwirbel; *Ao,Ao*[1] Aorta, zweimal durchschnitten, indem gerade der Gipfel ihres Bogens abgeschnitten ist; *SC* obere Hohlvene; *PA* Lungenarterie, welche sich in zwei Zweige, einen für jede Lunge spaltet. *LP,RP* linke und rechte Lungenvene; *Br* Bronchen oder Luftröhren der Lunge; *LL,RL* linke und rechte Lunge; *Œ* Oesophagus oder Schlundröhre; *p* äufseres Blatt des Herzbeutels; *pl* die zwei Lagen des Brustfelles; *v* die unpare Vene.

---

* Diese Flüssigkeit wird, gleich derjenigen, die im Bauchfelle, Brustfelle und anderen, dem Herzbeutel ähnlichen, geschlossenen Säcken enthalten ist, Serum genannt; daher nennt man die die Wände dieser Säcke bindenden Häute seröse Membranen oder Häute.

getrennt werden, die sich von der Basis bis zur Herzspitze erstreckt; daher stehen die beiden Abteilungen in keiner unmittelbaren Verbindung miteinander.

Jede dieser zwei grofsen Abteilungen ist ferner geteilt, nicht der Länge sondern der Quere nach, durch eine bewegliche Scheidewand. Die Höhlen, die oberhalb der Querwand auf jeder Seite liegen, heifsen die Vorhöfe (Atrien oder Aurikel), die unterhalb liegen, Herzkammern (Ventrikel), und von jeder dieser Abteilungen giebt es wieder eine rechte und eine linke.

Jede der vier Abteilungen hat denselben Rauminhalt und ist fähig, etwa 180 ccm Wasser zu fassen. Die Wände der Vorhöfe sind viel dünner als jene der Herzkammern. Die Wand der linken Herzkammer ist dicker als die der rechten; aber zwischen den beiden Vorhöfen ist kein solcher Unterschied wahrzunehmen.

9. In der That werden wir sehen, dass die Herzkammern mehr Thätigkeit zu entwickeln haben, als die Vorhöfe und die linke mehr als die rechte. Daher haben die Herzkammern mehr Muskelsubstanz als die Vorhöfe, und die linke mehr als die rechte, und dieser Überschufs von Muskelsubstanz ist die Ursache der gröfseren Dicke, die wir bei der linken Herzkammer gefunden haben.

Die Muskelfasern des Herzens sind nicht glatte, kernhaltige Bänder wie diejenigen der Gefäfse, sondern Bündel quergestreifter Fasern, und gleichen jenen der Hauptmuskeln des Körpers, unterscheiden sich aber doch

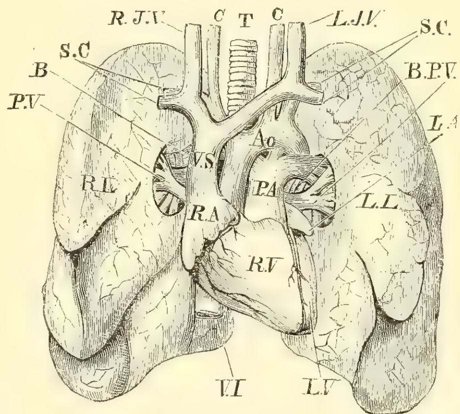


Fig. 10.

Das Herz, die grofsen Gefäfse und die Lungen, von vorn gesehen. *RV* Rechte Herzkammer; *LV* linke Herzkammer; *RA* rechter Vorhof; *LA* linker Vorhof; *Ao* Aorta; *PA* Lungenarterie; *PV* Lungenvene; *RL* rechte Lunge; *LL* linke Lunge; *VS* obere Hohlvene; *SC* Armgefäfse; *C,C* Kopfarterien; *RJV* und *LJV* rechte und linke Kopfvene; *VI* untere Hohlvene; *T* Trachea oder Luftröhre; *B* Bronchen.

Alle grofsen Gefäfse, mit Ausnahme derer der Lungen, sind abgeschnitten.

auch von diesen in mehreren Stücken, wie wir später sehen werden (vgl. Vorl. XII). Fast die ganze Masse des Herzens besteht aus diesen Muskelfasern, welche eine sehr merkwürdige und verwickelte Anordnung haben. Auf der Innenfläche ist es von einer häutigen Auskleidung überzogen, welche Endocardium genannt wird, und diese ist mit einem dünnen Epithel bekleidet. An der Vereinigungsstelle zwischen den Vorhöfen und Herzkammern sind die Öffnungen zwischen den Höhlen, die sogenannten Vorhofs-Herzkammer-Öffnungen oder Ostien, durch die sogenannten Faserringe verstärkt. An diesen Ringen sind die beweglichen Scheidewände oder Klappen zwischen den Vorhöfen

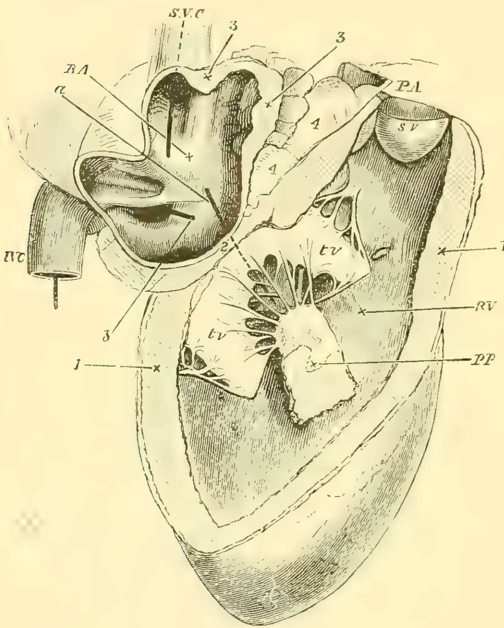


Fig. 11.

Rechte Hälfte des Herzens von einem Schafe. *RA* Höhle des rechten Vorhofes; *SVC* obere Hohlvene; *IVC* untere Hohlvene, durch beide sind Stäbchen geschoben; ebenso ist ein Stäbchen (*a*) vom Vorhofe nach der Herzkammer, ein anderes (*b*) vom Vorhofe aus in die Kranzvene hineingeschoben. *RV* Höhle der rechten Herzkammer; *tv, tv* zwei Zipfel der dreizipfeligen Klappe, der dritte Zipfel ist hinter ihnen undeutlich zu sehen, das Stäbchen *a* ist zwischen dem dritten hinteren und den beiden vorderen Klappenzipfeln durchgeschoben. Zwischen den beiden Klappenzipfeln und an sie mittelst der Sehnenfäden befestigt sieht man einen zapfenförmigen Muskel *pp*, dessen Ansatz an die Herzwand mit dem ausgeschnittenen Teile derselben entfernt worden ist. Nach oben geht die Herzhöhle in einen Kanal über, der zur Lungenarterie *PA* führt; eine der drei taschenartigen halbmondförmigen Klappen ist ganz zu sehen (*sv*), eine andere teilweise. 1 Die durchschnittene Wand der Herzkammer; 2 die Vorhof-Herzkammergrenze; 3 die durchschnittene Vorkammerwand; 4 Fett, welches zwischen dem Vorhofe und der Lungenarterie liegt.

und Herzkammern befestigt, deren Anordnung wir zunächst betrachten wollen.

10. An der Vorhofs-Herzkammeröffnung der rechten Seite besteht diese Scheidewand aus drei Teilen oder Zipfeln, links sind deren nur zwei vorhanden. Jede derselben ist eine breite, dünne, aber sehr zähe und kräftige, dreieckige Falte des Endokardiums, mit ihrer Basis, welche die der Nachbarin berührt, an dem Faserringe der Vorhofs-Herzkammeröffnung festgewachsen und mit ihrer Spitze in die Herzkammerhöhle hineinhängend. An der rechten Seite sind also drei dieser breiten, spitzen Häute, woher die ganze Vorrichtung die dreizipfelige Klappe *(valvula tricuspidalis)* genannt wird (vgl. Fig. 11; 13, tv). An der linken Seite sind nur zwei solcher Häute vorhanden; wenn man diese von allen ihren

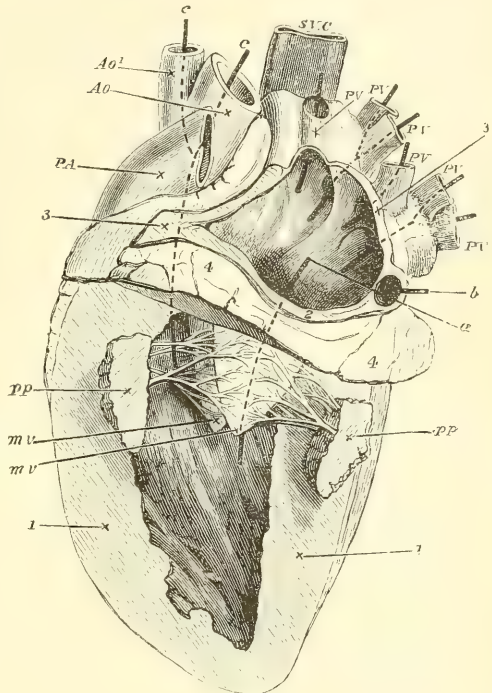


Fig. 12.

Linke Hälfte des Herzens von einem Schafe, eröffnet. *PV* Lungenvenen mit vier Öffnungen in den Vorhof mündend, wie die durchgesteckten Stäbchen zeigen; *a* ein Stäbchen, welches vom Vorhofe nach der Kammer geführt ist; *b* ein Stäbchen, das in die Kranzvene geschoben ist, welche zwar nicht in den linken Vorhof mündet, bei der Eröffnung des letzteren aber durchschnitten worden ist; *mv* die zwei Zipfel der Mitralklappe (etwas schematisch gezeichnet); *pp* abgeschnittene Papillarmuskeln, durch Sehnenfäden an die Klappen befestigt; *o* ein Stäbchen, welches von der Kammerhöhle in die Aorta geschoben ist; *Ao*[1] Ast der Aorta (vgl. Fig. 8 *Ao*′); *PA* Lungenarterie; *SVC* obere Hohlvene. 1 Durchschnittene Wand der Herzkammer; 2 Wand des rings um die Vorhofs-Herzkammeröffnung abgeschnittenen Vorhofes; 3 ein anderes Stück der durchschnittenen Vorhofswand; 4 Fettablagerung um die Basis des Ventrikels (vgl. Fig. 8, $_2$).

Anhängen, ausgenommen den Vorhofs-Herzkammerring, loslösen würde, so würden sie einer Bischofsmütze oder Mitra ähnlich sehen; daher hat man ihr den Namen Mitralklappe oder zweizipfelige Klappe *(valvula mitralis)* gegeben (vgl. Fig. 12; 13, mv).

Die Spitzen und Ränder dieser Klappen sind nicht vollkommen frei und lose. Vielmehr sind sie durch eine Anzahl feiner, starker, sehniger Fäden, Sehnenfäden *(chordae tendineae)* genannt, mit einigen säulenartigen Erhöhungen der fleischigen Substanz der Herzkammerwände verbunden, welche die zapfenförmigen Muskeln *(musculi papillares,* vgl. pp in Fig. 11 und 12) genannt werden. Andere Hervorragungen der fleischigen Herzwand im Innern der Herzhöhlen, welche wie Balken an den Wänden der Herzhöhlen verlaufen, heiſsen die Fleischbalken *(trabeculae carneae).*

Es folgt aus dieser Anordnung, daſs die Klappen dem Durchgange von Flüssigkeit aus den Vorhöfen zu den Herzkammern kein Hindernis entgegenstellen; aber wenn etwa die Flüssigkeit veranlaſst würde, in entgegengesetzter Richtung zu flieſsen, so müſste sofort ein Teil derselben zwischen die Klappen und die Herzwand geraten und die Klappen rückwärts und nach oben drängen. Teils nun weil sie sich in der Mitte begegnen und sich gegeneinander stemmen, besonders aber weil die Sehnenfäden ihre Ränder halten und sie an dem zu weiten Zurückgehen verhindern, bilden die so zurückgedrängten Klappen eine vollständige quere Scheidewand zwischen der Herzkammer und dem Vorhofe, durch welche keine Flüssigkeit dringen kann.

Wo die Aorta in die linke Herzkammer und die Lungenarterie in die rechte Herzkammer mündet, ist eine andere Klappenvorrichtung angebracht, in beiden Fällen aus drei wagentaschenförmigen Klappen bestehend, die halbmondförmigen Klappen *(valvulae semilunares)* genannt, welche jenen der Venen ähnlich sind (vgl. Fig. 11 sv; Fig. 13 und 14, Ao, PA). Da sie alle drei in gleicher Höhe angebracht sind und sich deshalb in der Mittellinie begegnen und aneinander legen, verhindern sie vollständig den Durchgang, wenn irgend eine Flüssigkeit gezwungen wird, die Arterie entlang in der Richtung zum Herzen zu flieſsen. Andererseits schlagen diese Klappen zurück und erlauben mit der gröſsten Leichtigkeit den Durchgang irgend einer Flüssigkeit, die vom Herzen in die Arterie flieſst.

Die Thätigkeit der Vorhofs-Herzkammerklappen kann sehr leicht bei einem Schafsherzen nachgewiesen werden, an welchem die Aorta und die Lungenarterie unterbunden worden sind und der gröfste Teil der Vorhöfe weggeschnitten ist, indem man Wasser durch die Vorhofs-Herzkammeröffnung in die Herzkammern giefst. Die dreizipfelige und die Mitralklappe werden dann gewöhnlich geschlossen durch den Aufwärtsdruck des Wassers, welches hinter sie tritt. Oder wenn die Herzkammern fast gefüllt sind, kann man die Klappen dadurch zum Schlusse bringen, dafs man die Herzkammern gelinde zusammenprefst.

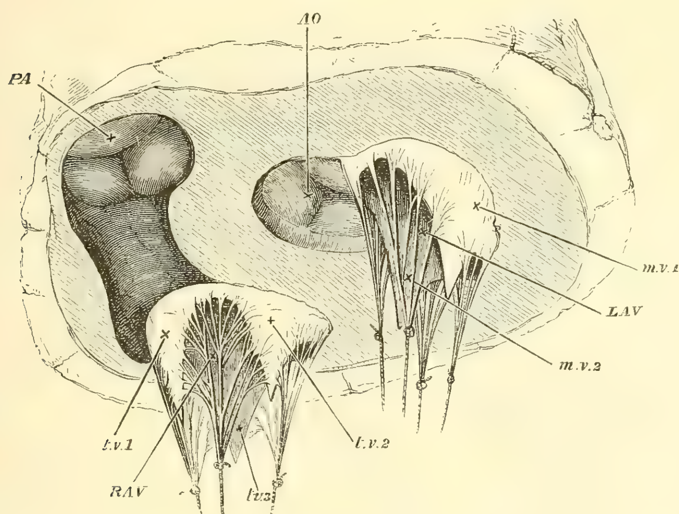


Fig. 13.

Ansicht der Ostien von unten her, nach Abtragung der ganzen Ventrikel. *RAV* Rechte Vorhofs-Herzkammeröffnung, umgeben von den drei Zipfeln (*tv* 1, *tv* 2, *tv* 3) der dreizipfeligen Klappe, welche mittelst der Sehnenfäden gespannt erhalten werden. *LAV* Linke Vorhofs-Herzkammeröffnung, von den zwei Zipfeln *mv* 1, *mv* 2 der Mitralklappe umgeben; *PA* Öffnung der Lungenarterie; *AO* Öffnung der Aorta; in beiden sind die Semilunarklappen geschlossen. Der dunkle Teil zwischen *PA* und *RAV* stellt den Kanal vor, der in Fig. 11 zu sehen ist.

In gleicher Weise wird, wenn die Basis der Aorta oder der Lungenarterie vom Herzen abgeschnitten ist, mitsamt den unverletzten halbmondförmigen Klappen, Wasser, welches man in die oberen Enden der Gefäfse giefst, ihre Klappen zum dichten

Schlusse bringen, so dass aufser im ersten Augenblicke nichts abfliefst.

Demnach ist die Anordnung der Vorhofs-Herzkammerklappen derart, dafs eine in den Herzhöhlen enthaltene Flüssigkeit nur in einer Richtung durch die Vorhofsöffnungen fliefsen kann: d. h. von den Vorhöfen zu den Kammern. Andererseits ist die Anordnung der halbmondförmigen Klappen eine solche, dafs der flüssige Inhalt der Herzkammern mit Leichtigkeit in die Aorta und Lungenarterie übertritt, während keine Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung von den Arterienstämmen nach den Kammern zu strömen vermag.

11. Wie alle anderen Muskelgewebe hat auch die Substanz des Herzens die Fähigkeit, sich zusammenzuziehen; aber unähnlich den meisten Muskeln, enthält das Herz in seinem Innern etwas, das seine verschiedenen Teile veranlasst, sich in bestimmter Folge und regelmäfsigen Zwischenräumen zusammenzuziehen. Wenn das Herz eines lebenden Tieres aus dem Körper herausgenommen wird, so wird es noch für längere oder kürzere Zeit weiter schlagen, gerade so wie es in dem Körper gethan hat. Und sorgfältige Beobachtung dieser Schläge wird lehren, dass sie bestehen in: erstens, einer gleichzeitigen Zu-

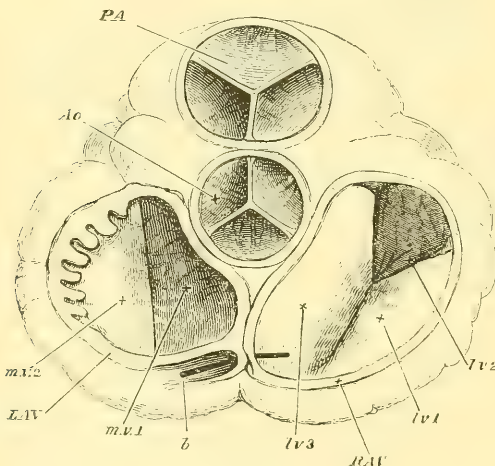


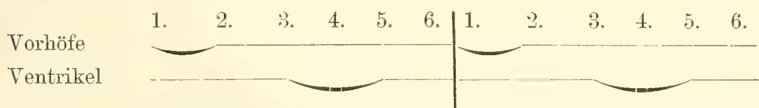
Fig. 14.

Die Herzöffnungen, von oben gesehen, nach Abtragung der Vorhöfe und der grofsen Gefäfse. *PA* Lungenarterie; *Ao* Aorta, beide mit ihren halbmondförmigen Klappen. — *RAV* Rechte Vorhofs-Herzkammeröffnung mit den drei Klappenzipfeln (*lv* 1, 2, 3) der dreizipfeligen Klappe; *LAV* linke Vorhofs-Herzkammeröffnung mit den beiden Zipfeln (*mv* 1, *mv* 2) der Mitralklappe. — *b* Ein in die Kranzvene eingeführtes Stäbchen. — Auf der linken Seite geht der Schnitt durch das Herzohr, daher der Schnittrand sein gezähntes Aussehen hat.

sammenziehung der Wände der beiden Vorhöfe; zweitens, unmittelbar darauf folgend einer gleichzeitigen Zusammenziehung der Wände der beiden Herzkammern. Drittens folgt dann eine Pause oder ein Zustand der Ruhe, nach welcher die Vorhöfe und Herzkammern sich wieder in derselben Reihenfolge wie vorher zusammenziehen, und ihren Zusammenziehungen folgt wieder dieselbe Pause. Wenn die Vorhofszusammenziehung durch A◡ bezeichnet wird, die der Herzkammer durch V◡ und die Pause durch –, so wird die Reihe der Thätigkeiten folgende sein: A◡V◡–; A◡V◡–; A◡V◡– u. s. w.

Also ist die Zusammenziehung des Herzens eine rhythmische: sie beginnt mit einer kurzdauernden Zusammenziehung der oberen Herzabteilung, d. h. der beiden Vorhöfe; auf diese folgt unmittelbar eine etwas länger dauernde Zusammenziehung der unteren Abteilung, d. h. der beiden Ventrikel, während welcher die Vorhöfe erschlafft sind; endlich drittens folgt wieder ein kürzerer Zeitraum, innerhalb dessen das ganze Herz (Vorhöfe und Ventrikel) erschlafft sind. Diesen letzteren Zeitabschnitt nennt man die Herzpause.

Man kann die Zeit, welche dieser ganze Vorgang dauert, als eine Herzperiode bezeichnen. Teilt man eine solche Periode in sechs gleiche Teile, so nimmt die Zuzammenziehung der Vorhöfe die ersten zwei Sechstel ein — während der vier anderen Sechstel sind die Vorhöfe erschlafft. Die Zusammenziehung der Ventrikel fällt auf das dritte, vierte und fünfte Sechstel. In dem letzten Sechstel endlich ist das ganze Herz unthätig. Das Ganze stellt sich also etwa so dar:



worin die geraden Striche die Ruhe, die Bogen die Thätigkeit andeuten.

Der Zustand der Zusammenziehung der Herzkammern und der Vorhöfe wird Systole genannt, der Zustand der Erschlaffung, während sich das Herz erweitert, Diastole.

12. Nachdem wir jetzt Kenntnis erlangt haben von den verschiedenen Röhren und Behältern des Cirkulationssystems, von der Lage der Klappen und den rhythmischen Bewegungen des

Herzens, wird es leicht zu verstehen sein, was sich ereignen muss, wenn der ganze Apparat voll mit Blut ist, und der erste Herzschlag mit der Zusammenziehung der Vorhöfe beginnt.

Durch diese Thätigkeit strebt jeder der Vorhöfe die in ihm enthaltene Flüssigkeit nach zweierlei Richtungen zu drängen — erstens nach den Venen, zweitens nach den Herzkammern: und die Richtung, welche das ganze Blut nehmen wird, hängt ab von dem Verhältnisse der Widerstände, welche ihm in diesen beiden Richtungen geboten werden.

Nach der Richtung der großen Venen zu findet es Widerstand in den Blutmassen, die in den Venen enthalten sind. Hingegen nach den Herzkammern zu ist kein nennenswerter Widerstand, um so mehr da die zwischen Vorhof und Kammer befindlichen Klappen offen, die Wände der Herzkammern in ihrem unzusammengezogenen Zustande schlaff und leicht ausdehnbar sind, und der ganze Druck des arteriellen Blutes durch die halbmondförmigen Klappen, die natürlich geschlossen sind, in den Arterien zurückgehalten und an dem Zurückströmen in die Kammern verhindert wird. Dazu kommt noch, dass die Muskeln der Vorkammern an den Stellen, wo die Venen in die letzteren einmünden, starke, ringförmig um die Einmündungsstellen angeordnete Lagen bilden und daß die Zusammenziehung der Muskeln immer an diesen Stellen beginnt. Wenn die Vorhöfe sich zusammenziehen, entsteht deshalb an den Venenmündungen ein Verschluss. Es wird daher nur wenig oder gar kein Blut in die Venen zurückfließen, dasselbe wird vielmehr in die Herzkammern eindringen und sie ausdehnen. Wenn die Herzkammern sich füllen und anfangen, fernerer Ausdehnung zu widerstehen, so wird das Blut, indem es hinter die Vorhofs-Herzkammerklappen tritt, diese gegeneinander schieben und fast vollständig schließen. Die Vorhöfe hören nun auf, sich zusammenzuziehen, und sowie ihre Wände schlaff werden, fließt frisches Blut aus den großen Venen zu und erweitert sie langsam von neuem.

Aber sowie der Augenblick der Vorhofs-Systole vorüber, beginnt die Herzkammer-Systole. Die Wände der beiden Herzkammern ziehen sich kräftig zusammen, und die erste Folge dieser Zusammenziehung ist, dass die Vorhofs-Herzkammerklappen noch vollständiger geschlossen werden, und jeder Ausgang nach den Vorhöfen verstopft wird. Der Druck auf die Klappen ist sehr

stark, und sie würden ganz umgestülpt und in die Vorkammern zurückgeschlagen werden, wenn ihre Ränder nicht durch die Sehnenfäden nach unten festgehalten würden.

Wenn im weiteren Verlaufe der Zusammenziehung der Raum der Herzkammern enger wird, nähern sich die Punkte der Herzwand, an denen die Sehnenfäden befestigt sind, den Rändern der Klappen; dieser Umstand würde ein Schlaffwerden der Fäden begünstigen, welches, wenn es wirklich stattfände, den Klappenrändern erlauben würde, zurückzuweichen, und somit ihren Nutzen aufheben müſste. Dem wird jedoch dadurch entgegengewirkt, daſs die Sehnenfäden nicht unmittelbar an den Herzwänden befestigt sind, sondern an den zapfenförmigen Muskeln, die aus der Wand hervorragen. Diese Muskeln verkürzen sich zu derselben Zeit, wenn sich die Herzsubstanz zusammenzieht; sie ziehen daher durch ihre eigene Zusammenziehung die Sehnenfäden um gerade so viel zurück, als die Zusammenziehung der Herzkammerwände ihre Ansatzpunkte an die Klappen heran bringt, und dadurch bleiben die Sehnenfäden gerade so fest angespannt wie zuvor.

Durch die soeben beschriebenen Vorkehrungen ist der Flüssigkeit in den Herzkammern der Weg nach den Vorhöfen versperrt; die ganze Kraft der Zusammenziehung der Herzkammerwände wirkt also dahin, den sehr groſsen Widerstand, den die halbmondförmigen Klappen darbieten, zu überwinden. Dieser Widerstand hat verschiedene Ursachen; er setzt sich zusammen aus dem Gewicht der senkrecht über den Klappen stehenden Blutsäule, aus dem Widerstand der ausgedehnten elastischen Wände der groſsen Arterien und aus der Reibung und Trägheit des in den Gefäſsen enthaltenen Blutes.

Es ist jetzt einleuchtend, weshalb die Herzkammern so viel mehr Arbeit zu leisten haben als die Vorhöfe, und welche Bedeutung die Klappen zwischen den Vorhöfen und Herzkammern haben, während zwischen den Vorhöfen und Venen keine vorhanden sind, ohne dass dies für die Leistung der Vorkammern von Nachteil wäre.

Denn alles, was die Vorhöfe zu thun haben, besteht darin, die Herzkammern zu füllen, welche diesem Vorgange keinen merklichen Widerstand bieten. Daher genügen die dünnen Wände der Vorhöfe und deshalb sind Venenvorhofsklappen vollkommen

unnötig. Denn der Widerstand von seiten der Herzkammer ist während der Kammersystole so gering, dass das Blut aus den Vorhöfen leichter in die Kammern als rückwärts in die Venen strömt. Ja manche Forscher sind sogar der Ansicht, daſs die Kammern, indem sie erschlaffen, das Blut mit einer, freilich geringen Kraft in sich hineinsaugen.

Andererseits müssen aber die Herzkammern bei ihrer Systole einen groſsen Widerstand überwinden, um Flüssigkeit in die elastischen Röhren, welche schon voll sind, zu pressen; und wenn keine Vorhofs-Herzkammerklappen da wären, würde die Flüssigkeit viel leichter rückwärts in die Vorhöfe und von da in die Venen zurückströmen, als daſs sie die halbmondförmigen Klappen auseinander drängte, um in die Arterien einzudringen. Daraus erhellt die Notwendigkeit der Vorhofs-Herzkammerklappen, sowie diejenige der Dicke und Stärke der Herzkammerwände. Und da die Aorta und die aus ihr entstehenden Arterien, Haargefäſse und Venen ein weit gröſseres Röhrensystem bilden, mehr Flüssigkeit enthalten und mehr Widerstand leisten als die Arterien, die Haargefäſse und Venen der Lungen, so begreift man, warum die linke Herzkammer eine dickere Muskelwand hat als die rechte.

Bei jeder Zusammenziehung der Vorhöfe werden also die Herzkammern gefüllt und die Vorhöfe entleert. Durch den Druck der Flüssigkeit in den groſsen Venen werden die Vorhöfe langsam wieder gefüllt, und dieser, freilich geringe Druck ist vollständig genügend, den passiven Widerstand der erschlafften Vorhofswände zu überwinden. Bei der unmittelbar darauf folgenden Zusammenziehung der Herzkammern wird dann dieses Blut aus den Herzkammern in die Arteriensysteme des Körpers und die Lungen geworfen und die fast leeren Herzkammern sind bereit, durch die Vorhöfe wieder gefüllt zu werden.

13. Wir müssen nun betrachten, was in den Arterien vorgeht, wenn der Inhalt der Herzkammern plötzlich in diese Röhren gepresst wird, welche, wie wir uns erinnern müssen, schon voll sind.

Wenn die Gefäſse Röhren wären mit starren Wänden wie Gasröhren, so würde der Stoſs auf die Flüssigkeit, welche die Arterien enthalten, sofort mit groſser Geschwindigkeit auf die ganze Flüssigkeitsmenge übertragen werden. Und da die Aorta in die Haargefäſse mündet, die Haargefäſse in die Venen

und diese in das rechte Herz, so würde ganz dieselbe Menge von Flüssigkeit, die aus der linken Herzkammer herausgetrieben ist, zum rechten Vorhofe zurückkehren und zwar fast in demselben Augenblicke, als die Herzkammern sich zusammenziehen. Und ganz das Gleiche würde für das System der Lungengefäſse gelten, in welchem das aus der rechten Kammer ausgepresste Blut in einem plötzlichen Stoſs nach dem linken Vorhof hinübergeworfen werden müſste.

Die Gefäſse sind jedoch nicht starre, sondern im Gegenteile sehr nachgiebige Röhren, und die groſsen Arterien insbesondere besitzen, wie wir gesehen haben, auſserordentlich elastische Wände. Andererseits ist die Reibung in den Capillaren und kleineren Arterien so beträchtlich, daſs die Strömung des Bluts aus den Arterien in die Venen nicht so schnell vor sich gehen kann, als der Übertritt aus dem Ventrikel in den Anfangsteil der Arterie. Daher häuft sich das Blut, welches aus dem Ventrikel ausgetrieben wird, zunächst in diesem Anfangsteil an, welcher sich vermöge der Elastizität seiner Wände erweitert und so für die neue Blutzufuhr Platz schafft. Sobald aber die Entleerung der Ventrikel beendet ist, kommt die Elastizität der Arterienwand ins Spiel. Die Röhre strebt wieder sich zu verengern und übt auf das Blut einen Druck aus, gleich dem, welcher vorher von der Herzkammer hervorgebracht worden war. Durch diesen Druck werden zunächst die halbmondförmigen Klappen zum Schluss gebracht, so dass kein Blut in den Ventrikel zurücktreten kann; sodann aber wirkt dieser erhöhte Druck im Anfangsteil der Arterien auf das Blut in den benachbarten Abschnitten der Röhren und schiebt es langsam vorwärts. Gleichzeitig aber kommt durch die plötzliche Erweiterung des Anfangsteils eine Störung in der elastischen Spannung der Arterienwand zu stande, und diese pflanzt sich als Pulswelle in den Wandungen fort, bis sie zuletzt in den kleineren Arterien unmerklich wird.

Denken wir uns, das Herz habe eine Zeitlang vollkommen zu schlagen aufgehört und die Gefäſse seien mit Blut gefüllt, aber nur so weit, dass die Wandungen nicht dadurch gespannt werden, sondern eben nur das ganze Röhrensystem gefüllt ist.*

* Diesen Zustand kann man bei Tieren durch Reizung des N. vagus wirklich herbeiführen, wie wir später erfahren werden (vgl. unter § 26 und Vorl. XI).

In diesem Falle muss das Blut im ganzen Gefäſssystem zur Ruhe kommen und muss überall unter gleichem Druck stehen. Tritt jetzt eine Zusammenziehung des Herzens ein, so wird das Gleichgewicht gestört; in den Arterien entsteht, wie wir eben gesehen haben, ein Überdruck. Aber ehe noch das Blut Zeit gehabt hat, in merklicher Menge aus den Arterien abzuflieſsen, folgt eine zweite Zusammenziehung des Herzens, auf diese eine dritte u. s. f. Der Druck in den Arterien wird also noch weiter gesteigert. Alles Blut, welches durch die Herzarbeit in die Arterien hineingepresst wird, wird aber den Venen entnommen. Also muss in diesen der Druck abnehmen, während er in den Arterien zunimmt. Und schlieſslich muss zwischen dem hohen Druck in den Arterien und dem niederen Druck in den Venen ein so groſser Unterschied entstehen, daſs in der kurzen Zeit zwischen zwei Herzschlägen gerade so viel Blut aus den Arterien durch die Capillaren abflieſst, als durch den Herzschlag in die Arterien hineingelangt ist. Ist dieser Zustand einmal erreicht, dann ist eine gleichförmige Strömung hergestellt, welche so lange bestehen bleibt, als sich in der Herzarbeit nichts ändert.

14. Mit der Thätigkeit des Herzens sind einige Begleiterscheinungen verbunden, welche zum Teil von groſser praktischer Wichtigkeit sind. Legt man eine Fingerspitze fest an die Brustwand an einer Stelle zwischen der fünften und sechsten Rippe der linken Seite, so fühlt man bei jedem Herzschlag eine Art von Stoſs oder Druck gegen den Finger. Derselbe ist zuweilen auch mit dem Auge wahrnehmbar und als der Herzschlag oder Spitzenstoſs bekannt.* Er ist die Folge eines Druckes der Herzspitze gegen den Herzbeutel an der inneren Wand der Brust an dieser Stelle im Augenblicke der Zusammenziehung der Herzkammern. Die nach vorn gewendeten Teile des Herzens liegen nicht in ihrer ganzen Ausdehnung der Brustwand an, sondern sind zum Teil von ihr durch die Ränder der Lunge getrennt.

Und wenn man den Versuch nicht allzulange ausdehnt, dann kann er ohne Gefährdung des Lebens vorgenommen werden. Auf diese Weise sind die im Text theoretisch abgeleiteten Sätze experimentell als richtig erwiesen worden.

* Man findet diese Stelle, wenn man sich bei einem Menschen eine gerade Linie durch die Brustwarze nach abwärts, parallel der Mittellinie, gezogen denkt und von dort, wo diese Linie den Zwischenraum der 5. und 6. Rippe schneidet, ein wenig nach innen geht.

Aber die Herzspitze liegt der Brustwand an der bezeichneten Stelle dicht an, nur durch das dünne Blatt des Herzbeutels von ihr getrennt. Während der Diastole ist die Muskelsubstanz des Herzens weich und schlaff. Sobald aber die Systole beginnt, wird sie durch den Druck, welchen die einzelnen Muskelfasern gegeneinander ausüben, hart und viel widerstandsfähiger gegen Druck von aufsen; sie muss daher auch ihrerseits stärker gegen die anliegende Brustwand angepresst werden. Dazu kommt noch, dass durch die Formänderungen des Herzens und durch die Art seiner Verbindung mit den grofsen Arterien das ganze Herz bei der Systole stärker gegen jenen Punkt der Herzwand hingedrängt wird. Und diese beiden Umstände wirken zusammen, um den Spitzenstofs äufserlich wahrnehmbar zu machen.

15. Wenn man das Ohr in der Herzgegend an die Brustwand anlegt, so hört man gewisse Töne, welche mit grofser Regelmäfsigkeit in Zwischenräumen wiederkehren, die jenen zwischen je zwei Herzschlägen entsprechen. Zuerst kommt ein langer dumpfer Laut, dann ein kurzer scharfer, dann eine Pause; dann wieder der lange, dann der scharfe Laut, dann wieder eine Pause und so fort. Es giebt verschiedene Meinungen über die Ursachen des ersten Tones; viele Physiologen sind der Ansicht, dass der erste Herzton durch die Zusammenziehung des Herzmuskels erzeugt werde, doch entsteht gleichzeitig wahrscheinlich noch ein anderer Ton durch die Spannung der Vorhofs-Herzkammerklappen, und beide Töne werden vom Ohre gemischt empfunden. Der zweite Ton aber entsteht ohne Zweifel durch das plötzliche Schliefsen der halbmondförmigen Klappen, wenn die Herzkammerzusammenziehung beendet ist. Dafs dies der Fall ist, hat man durch einen Versuch bewiesen, indem man mit einem durch die Arterie eingeführten Häkchen die halbmondförmigen Klappen bei einem lebenden Tiere am Schluss verhinderte, worauf der zweite Ton sogleich aufhörte.

Die praktische Wichtigkeit dieser Töne sowie des Spitzenstofses beruht darauf, dass man durch sie in den Stand gesetzt wird, krankhafte Veränderungen am Herzen während des Lebens zu erkennen. In der That hat die genauere Erkenntnis der physiologischen Verhältnisse zu einer vollständigen Umwälzung der Lehre von den Herzkrankheiten geführt.

16. Legt man den Finger auf eine oberflächlich gelegene

Arterie, z. B. am Handgelenke, so fühlt man den sogenannten Puls; d. h. die elastische Arterie wird ein wenig weiter in regelmäſsigen Zwischenräumen, welche den Herzschlägen entsprechen. Der Puls, welcher mit dem Finger gefühlt wird, stimmt jedoch nicht genau mit dem Schlage des Herzens überein, sondern erfolgt ein klein wenig später, und je gröſser die Entfernung der Arterie vom Herzen ist, desto gröſser ist der Unterschied. Der Schlag in der Arterie an der inneren Seite des Fuſsknöchels erfolgt ein wenig später als der Schlag der Arterie an der Schläfe. Den Grund hiervon haben wir schon kennen gelernt (§ 13). Der Puls ist in der That die Folge der elastischen Ausdehnung der Arterienwand, welche zuerst nur am Anfange der Aorta, dicht am Herzen, entstanden ist und sich auf alle Zweige der Aorta fortgepflanzt hat mit einer Geschwindigkeit, welche von der Spannung der Arterien und ihrer Elastizität abhängt. Indem wir daher zwei Punkte miteinander vergleichen, welche ungleich weit vom Anfange der Aorta entfernt sind, finden wir, dass der Puls an dem entfernteren später erfolgt, als an dem näheren. Man muss sich aber wohl hüten, diese Fortpflanzung der Pulswelle in der Arterienwand mit der Fortbewegung des Bluts im Innern des Arterienrohrs zu verwechseln. Das Blut schiebt sich, eben weil der ursprüngliche Stoſs, welchen die Zusammenziehung des Herzens auf die Blutsäule in der Aorta ausübt, durch die elastische Ausdehnung der Aorta sehr abgeschwächt wird, sehr langsam fort, und das durch eine Herzzusammenziehung in die Aorta getriebene Blut gelangt erst sehr viel später in die Capillaren.

17. Wenn eine gröſsere oder mittlere Arterie angeschnitten wird, so wird der Ausfluſs der in ihr enthaltenen Flüssigkeit stoſsweise verstärkt in Zwischenräumen, welche mit denen der Herzschläge übereinstimmen. Die Ursache hiervon ist einfach dieselbe wie beim Puls; die Kraft, welche angewendet werden würde, um die Wände der Arterie auszudehnen, wäre dieselbe unzerschnitten, wird nun, da die Arterie zerschnitten ist, verwandt, der ausflieſsenden Flüssigkeit eine stoſsweise Beschleunigung zu erteilen. Anders gestaltet sich die Sache bei den kleineren Arterien, wie wir gleich sehen werden.

18. Unter gewöhnlichen Verhältnissen kann man den Puls nicht in den Haargefäſsen oder Venen fühlen. Das kommt von

verschiedenen Umständen. Einer davon ist, dass die Summe der Querschnitte der Zweige einer Arterie gröſser ist, als derjenige ihres Stammes, und der Querschnitt aller Haargefäſse zusammen gröſser als derjenige aller kleinen Arterien zusammen. Indem sich die Erschütterung von dem Hauptstamm auf die Zweige und von diesen auf immer mehr Zweige fortpflanzt, muss sie deshalb in demselben Maſse schwächer werden, als sie auf immer gröſsere Massen von Wandung übertragen wird.

19. Doch dieser Umstand allein genügt noch nicht zur Erklärung. Wäre der Puls nur unfühlbar geworden infolge seiner Verteilung unter so viele Haargefäſse, so müsste er wieder zum Vorschein kommen, wenn das Blut sich wieder in einigen wenigen groſsen Venenstämmen sammelt. Das ist aber nicht der Fall; der Puls hört an den Capillaren unwiederbringlich auf. An den Venen ist, unter gewöhnlichen Umständen, keine Spur von Puls vorhanden, abgesehen von einem etwa vom Herzen her rückwärts auf die groſsen Venen sich fortpflanzenden Pulse, der jedoch eine ganz andere Ursache hat.*

Dieses Verschwinden oder, richtiger gesagt, diese Umwandlung des Pulses ist gleichfalls eine Folge der Elasticität der Arterienwandungen und hängt innig zusammen mit der gleichzeitig erfolgenden Umwandlung der stoſsweisen Fortbewegung des Blutes in ein gleichmäſsiges Flieſsen.

Wie wir schon gesagt haben, ist wegen der auſserordentlichen Enge der Capillaren und kleinen Arterien die Reibung in ihnen eine sehr groſse. Sie bieten daher dem Durchströmen des Blutes einen sehr erheblichen Widerstand dar, und daraus folgt, daſs sich das Blut in den Arterien anhäuft, dieselben ausdehnt und unter einem sehr hohen Druck steht.

Nun können wir durch den Versuch nachweisen, dass unter diesen Umständen elastische Röhren, wenn sie lang genug und elastisch genug sind, die Wirkung haben, die stoſsweise Bewegung in ein gleichmäſsiges Flieſsen zu verwandeln. Wenn eine Pumpe mit dem einen Ende einer Glasröhre verbunden und in Bewegung gesetzt wird, so strömt das Wasser aus dem anderen Ende der Glasröhre stoſsweise aus, entsprechend den einzelnen Stöſsen der

* Ein solcher Puls der groſsen Venen entsteht z. B. bei Klappenfehlern am rechten Herzen, wenn die dreizipfelige Klappe nicht schlieſst, und daher das Blut rückwärts in die Venen getrieben wird.

JAN 5 1927

Pumpe, gleichgiltig, ob dieses Ende weit offen oder zu einer feinen Öffnung, welche einen grofsen Widerstand bietet, ausgezogen ist. Die Glasröhre ist starr und ihre Wandungen ändern nichts an den Wirkungen der Pumpe. Ersetzen wir aber die Glasröhre durch ein Kautschukrohr, so sehen wir verschiedene Wirkungen, je nachdem die Mündung weit oder eng ist. Ist sie weit, so fliefst das Wasser in einzelnen Stöfsen aus, ungefähr ebenso wie es bei der Glasröhre der Fall war. Der Widerstand beim Ausfliefsen ist gering, das Kautschukrohr wird gar nicht oder nur wenig ausgedehnt, und seine Elasticität kommt nicht zur Geltung. Wenn wir hingegen die Mündung verengern, z. B. indem wir einen Hahn anbringen oder eine zu einer feinen Spitze ausgezogene Glasröhre, oder indem wir einen Schwamm in das Rohrende stopfen, kurz wenn wir auf irgend eine Weise dem Ausflusse einen Widerstand entgegensetzen, so dehnt sich das Kautschukrohr aus, seine Elasticität kommt zur Geltung, und das Wasser strömt nicht in einzelnen Stöfsen aus, sondern in einem Strome, der um so gleichmäfsiger ist, je länger und elastischer das angewandte Rohr ist.

Setzen wir für die Pumpe das Herz, für den Hahn oder Schwamm die Capillaren und kleinen Arterien, für das Kautschukrohr das ganze Arteriensystem, dann haben wir ganz und gar die Verhältnisse, wie sie im lebenden Körper gegeben sind. Durch die Elasticität der Röhrenwandungen werden die einzelnen, vom Herzen ausgehenden Stöfse in eine gleichmäfsige Strömung verwandelt. Die gesamte Kraft eines jeden Herzstofses wird nicht sofort verwandt, um eine gewisse Menge von Blut aus den Capillaren auszustofsen; nur ein Teil wirkt derart, ein anderer Teil dient zunächst dazu, die elastischen Arterien zu erweitern. Aber in der Pause zwischen einem solchen Herzstofse und dem nächstfolgenden verengern sich die erweiterten Arterien wieder vermöge ihrer Elasticität und pressen nun das Blut durch die Capillaren mit einer Kraft, welche der vorher zu ihrer Erweiterung aufgewandten gleich ist. Dann folgt ein neuer Herzschlag, und der ganze Vorgang wiederholt sich in der nämlichen Weise. Bei jedem Stofse werden die Capillaren durch die Arterien vor dem plötzlichen Anpralle geschützt; dann aber gelangt in der Zwischenzeit zwischen zwei Stöfsen ein ruhiger und stetiger Strom zu den Capillaren und durch dieselben.

Je gröſser der Betrag an elastischen Arterienwänden ist, welche derart wirken können, d. h. je gröſser der Abstand vom Herzen ist, desto gröſser wird der Bruchteil jedes Herzstoſses, welcher solcherweise innerhalb des Zeitraumes zwischen zwei Herzstöſsen in eine gleichmäſsige elastische Spannung verwandelt wird. Deshalb wird der Puls um so weniger ausgeprägt sein, je weiter man sich vom Herzen entfernt; für jeden gegebenen Teil des Arteriensystems ist der zwischen ihm und dem Herzen gelegene Teil des Systems gleichsam als eine Art Sicherheitsventil gegen plötzliche Stöſse anzusehen. Jeder Centimeter des Arteriensystems verwandelt sozusagen einen Teil des plötzlichen Stoſses in gleichmäſsigen Druck, und indem sich alle diese Wirkungen in der ganzen Länge des Arteriensystems summieren, bleibt zuletzt keine Spur von den plötzlichen Stöſsen übrig.

Indem so die Wirkung jeder Systole durch diese eben auseinandergesetzten Ursachen in den kleineren Arterien auſserordentlich abgeschwächt ist, tritt umgekehrt der gleichmäſsig wirkende Druck deutlicher hervor und bewirkt ein gleichmäſsiges Flieſsen des Blutes von den kleinen Arterien durch die Capillaren zu den Venen. Deswegen haben wir auch betont, dass nur gröſsere oder höchstens mittelgroſse Arterien, wenn sie angeschnitten werden, stoſsweise spritzen. Bei Verletzung von kleinen Arterien, Capillaren und Venen sehen wir dagegen das Blut ganz gleichmäſsig flieſsen so lange, als der Druck in den weiter zurückliegenden Teilen des Arteriensystems noch ausreicht, die vorhandenen Widerstände zu überwinden.

Dergestalt wirken die Arterien ganz in der nämlichen Weise wie der Windkessel einer Feuerspritze, welcher gleichfalls die plötzlichen Stöſse der Pumpen in den gleichmäſsig aus dem Schlauche herauskommenden Strahl verwandelt. Bei der Feuerspritze wird diese Wirkung erzielt durch die Einschaltung der im Windkessel eingeschlossenen und durch das hineingepresste Wasser zusammengedrückten elastischen Luft; beim Arteriensystem durch die Einschaltung der ausgedehnten elastischen Wandungen der Arterien zwischen der stoſsweise wirkenden Herzpumpe und den Capillaren.

20. Das also ist das allgemeine Ergebnis der mechanischen Bedingungen der Kreislaufsorgane in Verbindung mit der rhythmischen Thätigkeit des Herzens. Diese Thätigkeit treibt das

Blut aus dem Herzen in die Arterien, von da in die Haargefäſse und von diesen durch die Venen zurück zum Herzen. Im Laufe dieser Thätigkeit verursacht sie nebenbei den Herzschlag, die Töne des Herzens und den Puls. Die Dauer eines vollen Kreislaufes hat man durch Versuche ermittelt, indem man dem Blute einen chemischen Stoff beimischte, welcher leicht durch Reagenzien nachgewiesen werden kann. So fand man z. B., dass der Kreislauf von einer Jugularvene zum rechten Herzen, von da durch die Lungen zum linken Herzen, und von dort durch Arterien und Capillaren des Kopfes und Nackens wieder zur Jugularvene zurück, beim Pferde etwa in einer halben Minute, vollzogen wird. Weitaus der gröſste Teil dieser halben Minute wird eingenommen von dem Durchgange durch die Capillaren, in welchen das Blut nach einer ungefähren Schätzung mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 bis 4 cm in der Minute flieſst, während seine Geschwindigkeit in der Carotis eines Hundes etwa 25 cm in der Sekunde beträgt. Jedoch beträgt die Länge der Capillaren, durch welche ein Blutkörperchen in der Lunge oder in irgend einem anderen Körperteile hindurchwandern muſs, nicht mehr als etwa ein Millimeter.

Insofern die Kraft, welche das Blut in Bewegung setzt (wenn wir von den anderen, sehr geringfügigen Beihilfen absehen), in den rhythmischen Zusammenziehungen des Herzens allein gegeben ist, ist es klar, dass die Geschwindigkeit der Blutbewegung in der Aorta am gröſsten sein und nach den Capillaren hin nach und nach abnehmen muss.

Denn mit jeder Teilung der Arterien nimmt der Querschnitt des Strombettes, durch welches das Blut flieſst, zu, und die Weite der Capillaren, wenn alle neben einander gelegt würden, Seite an Seite, würde die der Aorta um vieles übertreffen. Deshalb muss das Blut, oder ein einzelnes Blutkörperchen, welches durch die einzige Kraft des rhythmisch schlagenden Herzens in Bewegung gesetzt und erhalten wird, in dem Maſse, als es von der Aorta in die kleineren Arterien gelangt, immer langsamer sich bewegen und zuletzt in den Capillaren am langsamsten flieſsen.

Es ist nicht etwa die gröſsere Reibung in den Capillaren, welche die geringere Geschwindigkeit der Strömung in diesen letzteren bewirkt, denn der Widerstand, welchen diese Reibung hervorbringt, macht sich auch rückwärts schon in der Aorta

geltend, wo der gesammte Widerstand des ganzen Gefäfssystems auf die Bewegung des Blutes einwirkt. Damit die Blutbewegung überhaupt zu stande kommen kann, muss eben dieser gesammte Widerstand vom Herzen überwunden werden.

Die Bewegung wird also nur deshalb langsamer, weil das durch eine und dieselbe Kraft in Bewegung gesetzte Blut in immer weitere und weitere Bahnen gelangt. In den Capillaren ist deshalb die Bewegung am langsamsten. Wenn es die Capillaren verlässt und in den Venen in engere Bahnen kommt, wird die Geschwindigkeit der Strömung aus denselben Gründen wieder gröfser. Denn in dem Mafse als sich einzelne Venen zu gröfseren Stämmen vereinigen, wird auch deren Querschnitt geringer als die Summe der Querschnitte der kleinen Venen, aus deren Vereinigung sie entstanden sind.

Die Sache verhält sich gerade so wie bei einem Strome, der sich zu einem See erweitert und dann wieder zu einem engen Strome zusammenzieht. Die bewegende Kraft ist vor und hinter dem See dieselbe (die Schwere). Aber die Stromgeschwindigkeit ist im See geringer als vor und hinter demselben in dem engeren Strombette.

21. Es ist jetzt nötig, den Weg des kreisenden Blutes im ganzen etwas genauer zu verfolgen. Und wir können passend beginnen mit dem Teile Blut, der in irgend einem Augenblicke im rechten Herzvorhofe enthalten ist. Die Zusammenziehung des rechten Vorhofes treibt die Flüssigkeit in die rechte Herzkammer; dann zieht sich die rechte Herzkammer zusammen und drängt das Blut in die Lungenarterie; von hier geht es in die Haargefäfse der Lungen; aus diesen kehrt es durch die vier Lungenvenen in den linken Vorhof zurück, und die Zusammenziehung des linken Vorhofes treibt es in die linke Herzkammer.

Die Zusammenziehung der linken Herzkammer presst das Blut in die Aorta. Die Zweige der Aorta verteilen es in alle Teile des Körpers mit Ausnahme der Lungen; und aus den Haargefäfsen aller dieser Teile wird es durch Gefäfse, welche sich nach und nach zu immer gröfseren Stämmen vereinigen, entweder in die untere oder in die obere Hohlvene geführt, welche es wiederum in den rechten Vorhof bringen.

Eine Ausnahme hiervon macht nur das in die Haargefäfse des Magens und der Gedärme, der Milz und Bauchspeicheldrüse

gebrachte Blut. Denn dieses wird in Venen gesammelt, welche sich zu einem einzigen Stamme vereinigen — der Pfortader. Die Pfortader verteilt ihr Blut in die Leber, indem es sich dort mit jenem vermischt, welches den Haargefäfsen desselben Organs durch die Leberarterie zugeführt worden ist. Aus diesen Haargefäfsen wird es in kleinen Venen gesammelt, welche sich zu einem grofsen Stamme — der Lebervene, vereinigen, der sich in die untere Hohlvene ergiefst. Der Blutstrom aus den Baucheingeweiden durch die Leber zu der Lebervene wird das Stromgebiet der Pfortader genannt (vgl. Fig. 7).

Das Herz selbst wird mit Blut aus den beiden Kranzarterien versehen, welche aus der Wurzel der Aorta gerade über zweien der halbmondförmigen Klappen entspringen. Das Blut der Herzhaargefäfse wird zurückgeführt durch die Kranzvene; nicht zu einer der beiden Hohlvenen, sondern zu dem rechten Vorhofe. Die Öffnung der Kranzvene wird durch eine Klappe geschützt, so dass der rechte Vorhof verhindert wird, das in ihm enthaltene venöse Blut rückwärts in die Gefäfse des Herzens zu treiben.

22. Also, der möglichst kürzeste Weg, den irgend ein Blutteilchen nehmen kann, um von der einen Seite des Herzens zur anderen zu gelangen, ist der, die Aorta durch eine der Kranzarterien zu verlassen und durch eine der Kranzvenen in den rechten Vorhof zurückzukehren. Und um die gröfstmögliche Zahl von Haargefäfsen zu passieren und danach erst zu dem Punkte, von dem es ausgegangen ist, zurückzukehren, muss ein Blutteilchen das Herz durch die Aorta verlassen und durch diejenigen Arterien gehen, welche den Verdauungskanal, die Milz und die Bauchspeicheldrüse versehen. Dann geht es erstens in die Haargefäfse dieser Organe, zweitens in die Haargefäfse der Leber, und drittens, nachdem es durch die rechte Seite des Herzens gegangen ist, in die Haargefäfse der Lungen, aus welchen es in die linke Seite und von da in die Aorta zurückkehrt.

Ferner folgt aus dem, was über das Lymphgefäfssystem gesagt worden ist, dafs irgend ein Stoffteilchen, welches in ein Milchgefäfs der Gedärme eintritt, durch die obere Hohlvene den rechten Vorhof erreichen wird, nachdem es durch die Lymphhaargefäfse und Kanäle verschiedener Lymphdrüsen gegangen

ist; während ein anderes Teilchen, welches in die benachbarten Bluthaargefäfse in den Wänden der Gedärme eingedrungen ist, den rechten Vorhof durch die untere Hohlvene erreichen wird, nachdem es durch die Bluthaargefäfse der Leber gegangen ist.

23. Wir haben oben gesehen (§ 2), dafs auf die kleinen Arterien und Venen unmittelbar eingewirkt werden kann durch das Nervensystem, welches den Grad der Zusammenziehung ihrer Muskelwände bestimmt und dadurch ihre Weite regelt. Infolge dieser Kraft des Nervensystems kommt ihm eine gewisse Oberaufsicht über den Kreisumlauf auf verschiedenen Punkten zu. Dadurch kann es auch dann, wenn die Kraft des Herzens und die allgemeine Beschaffenheit der Gefäfse dieselben bleiben, dennoch geschehen, dass der Stromlauf sehr verschieden an verschiedenen Örtlichkeiten wird.

Das Erröten ist z. B. eine solche rein örtliche Veränderung der Blutströmung, und es ist lehrreich zu beobachten, wie das Erröten zu stande kommt.

Irgend eine Gemütsbewegung — gleichgiltig ob angenehm oder peinlicher Art — befängt den Geist: Hierauf wird eine heifse, plötzliche Röte im Gesichte gefühlt, die Haut wird rot, und je nach der Stärke der Empfindung erstrecken sich diese Veränderungen über die Wangen oder dehnen sich bis „in die Haarwurzeln“ oder über den ganzen Körper aus.

Was ist die Ursache dieser Veränderungen? Das Blut ist eine rote und heifse Flüssigkeit; die Haut wird rot und heifs, weil ihre Gefäfse eine vermehrte Menge dieser roten, heifsen Flüssigkeit erhalten; und ihre Gefäfse erhalten deshalb mehr, weil die kleinen Arterien sich plötzlich ausdehnen, indem die gewöhnliche mäfsige Zusammenziehung ihrer Muskeln durch einen Zustand der Erschlaffung unterbrochen wird. Mit anderen Worten, die Thätigkeit der Nerven, welche die Muskelzusammenziehung verursachen, ist unterbrochen.

Andererseits wirkt bei vielen Leuten ein grofser Schreck derart, dafs die Haut kalt und das Gesicht blass wird und ängstlich erscheint. Unter diesen Umständen ist in der That der Zufluss von Blut zur Haut sehr vermindert infolge einer aufserordentlichen Erregung der Nerven der kleineren Arterien, welche sie veranlasst, sich zusammenzuziehen und so den Zufluss von Blut mehr oder weniger vollständig abzuschneiden.

24. Dass die Sache sich wirklich so verhält, kann experimentell an Kaninchen nachgewiesen werden. Diese Tiere erröten zwar nicht auf natürliche Art, aber man kann sie künstlich erröten machen. Wenn bei einem Kaninchen der sympathische Nerv, welcher Verzweigungen zu den Gefäſsen des Kopfes sendet, am Halse durchschnitten wird, so errötet das Ohr des Kaninchens, das mit einer so feinen Haut bedeckt ist, dass man die Veränderungen in seinen Gefäſsen leicht beobachten kann, plötzlich sehr stark. Das heiſst, die Gefäſse dehnen sich aus, füllen sich mit Blut, und das Ohr wird rot und heiſs. Der Grund davon ist der, daſs, wenn der Sympathicus durchschnitten wird, der Nervenreiz, der für gewöhnlich durch seine Fasern zu den Gefäſsen geleitet wird, plötzlich unterbrochen ist, und die Muskeln der kleinen Gefäſse, die mäſsig zusammengezogen waren, vollständig erschlaffen. Man ist aber ebenso auch im Stande, Blässe und Kälte im Kaninchenohre zu erzeugen. Dazu ist es nur nötig, das abgeschnittene Ende des Sympathicus, welches mit den Gefäſsen in Verbindung geblieben ist, zu reizen. Der Nerv wird dadurch erregt und die Muskelfasern der Gefäſse geraten in einen heftigen Grad der Zusammenziehung, welcher ihren Querschnitt so sehr verengert, daſs das Blut kaum durch sie hindurch kann. Folglich wird das Ohr blass und kalt.

25. Die Nerven, welche in dieser Weise auf die Weite der Gefäſse einwirken, werden Gefäſsnerven oder vasomotorische Nerven genannt. Durch sie erhält das Nervensystem einen Einfluss auf die Blutströmungsverhältnisse in den einzelnen Körperteilen, welche von groſser Wichtigkeit ist. Wenn irgend ein Organ in Thätigkeit kommt, so ist es vorteilhaft, dass es reichlicher mit Blut versorgt wird, als wenn es in Ruhe ist. Dementsprechend finden wir auch, dass bei der Zusammenziehung der Muskeln, bei der Absonderung der Drüsen, beim Beginn der Verdauung im Magen, sowie in allen ähnlichen Fällen, die kleinen Arterien der betreffenden Organe sich erweitern und so dieselben blutreicher machen. Die Organe erröten, wenn wir so sagen dürfen, und dieses innere Erröten wird, wie das äuſsere, durch die Gefäſsnerven vermittelt. Wir haben schon kurz angedeutet (Vorl. I, § 24) und wir werden später (Vorl. V, § 30) nochmals darauf zurückkommen müssen, dass die Eigenwärme des Körpers geregelt wird durch das Blut, welches bei seinem Durchströmen

durch die Haut abgekühlt wird; die Blutmenge, welche durch die Haut fliefst, steht gleichfalls unter dem Einfluss des Nervensystems. Und so ist es im ganzen Körper; überall regelt und überwacht letzteres die Blutverteilung, sendet bald mehr Blut zu diesem, bald zu jenem Teil. Fehlt diese regelnde Thätigkeit oder ist sie ungenügend, dann kann das zu Erkrankungen führen, wie es zuweilen bei den durch plötzlichen Temperaturwechsel entstehenden Erkältungen der Fall ist.

26. Steht das Herz in gleicher Weise unter der Kontrole des Centralnervensystems? Wie wir alle wissen, steht es nicht unter dem unmittelbaren Einflusse des Willens, aber ebensogut weifs ein jeder, dafs die Thätigkeit des Herzens wunderbar durch alle Arten von Gemütsbewegung beeinflufst wird.

Männer und Frauen sind oft ohnmächtig und zuweilen getötet worden durch plötzliche Freude und heftigen Schmerz; und wenn sie auf diese Art ohnmächtig werden oder sterben, so kommt das daher, weil die Einwirkung auf ihr Gehirn etwas erzeugt, was das Herz still stehen macht, wie man eine Sekundenuhr mit einer Hemmfeder still stehen lassen kann. Andererseits erzeugen andere Gemütsbewegungen jene aufserordentliche Geschwindigkeit und Heftigkeit des Herzschlages, welche wir *Herzklopfen* nennen.

Nun giebt es mehrere Arten von Nerven im Herzen: man findet in ihm *Ganglien* oder Anhäufungen von Nervenzellen, welche im Herzen selbst, namentlich in den Vorkammern zwischen seinen Muskelfasern liegen, und von diesen Ganglien gehen Nervenfasern aus, welche sich im ganzen Herzen, Vorhöfen wie Ventrikeln, verbreiten. Aufserdem aber treten auch von aufsen her Nerven an das Herz. Einige von diesen kommen aus dem *Sympathicus*, doch stammen wahrscheinlich viele derselben eigentlich aus dem Rückenmark. Andere Zweige aber stammen aus einem Gehirnnerven, der sich auch in den Lungen, dem Magen und anderen Teilen verbreitet und der *pneumogastrische* oder *Lungenmagen-Nerv*, oder auch *Nervus vagus* genannt wird. Man hat alle Ursache zu glauben, dass die regelmäfsige rhythmische Folge der gewöhnlichen Herzzusammenziehung von den Ganglien abhängt, die in ihm enthalten sind. Jedenfalls ist es sicher, dass diese Bewegungen weder vom Sympathicus, noch vom Vagus erregt werden, da sie nicht

aufhören, wenn jene Nerven vollständig vom Herzen abgetrennt werden oder auch das ganze Herz aus dem Körper entfernt wird.

Dagegen gelangt der Einfluss, durch welchen die Thätigkeit des Herzens vermindert oder ganz aufgehoben wird (wie z. B. bei der Ohnmacht) von aufsen her zum Herzen und zwar durch Vermittelung des Vagus. Dies kann an Tieren, wie z. B. Fröschen, sehr leicht bewiesen werden.

27. Wenn einem Frosche das Rückenmark zerquetscht oder das Gehirn zerstört wird, so dass alles Gefühl verschwunden ist, so wird das Tier fortfahren zu leben, und sein Kreisumlauf wird sehr gut für eine unbestimmte Zeit andauern. Das Innere des Körpers kann blofsgelegt werden, ohne Schmerz oder Unruhe zu verursachen, und man kann dann das Herz mit grofser Regelmäfsigkeit schlagen sehen. Man kann dann in das Herz einen langen Zeiger einstecken, welcher durch die Herzbewegung rückwärts und vorwärts in Bewegung versetzt wird, ähnlich

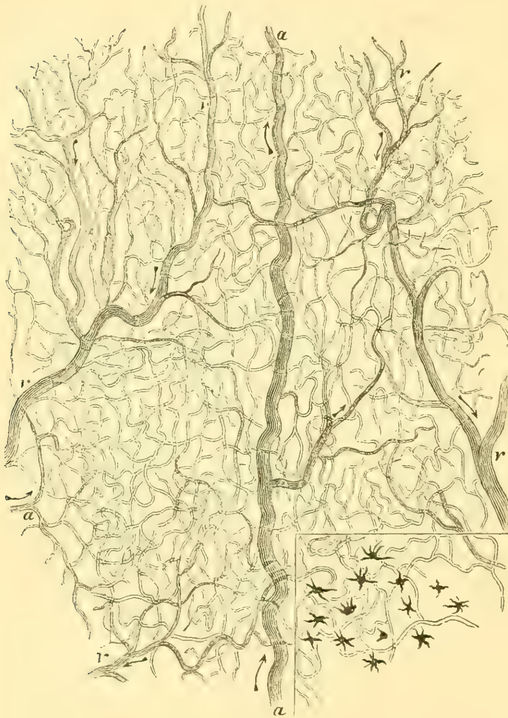


Fig. 15.

Teil der Schwimmhaut einer Froschpfote; nur die Blutgefäfse sind dargestellt, ausgenommen in dem Winkel unten rechts, wo auch die Pigmentzellen gezeichnet sind. Geringe Vergröfserung. *a* Kleine Arterien; *v* kleine Venen. Die engen Röhren, welche Arterien und Venen verbinden, sind Capillaren; die Pfeile zeigen die Richtung des Blutstromes an. Die in der Mitte des Gesichtsfeldes emporziehende Arterie verzweigt sich an höheren, in der Zeichnung nicht mit dargestellten Teilen in Capillaren.

wie das umgekehrte Pendel, welches die Musiker Metronom nennen; und wenn man Frosch und Zeiger mit einer Glasglocke bedeckt und die Luft unter derselben feucht erhält, so wird der Zeiger mit grofser Beständigkeit zuweilen mehrere Tage schwingen. Es ist leicht, an dem auf diese Art hergerichteten Frosche eine Vorrichtung anzubringen, durch welche elektrische Schläge durch die Nervi vagi geleitet werden können, so dass dieselben davon erregt werden. In dem Augenblicke, wo dies geschieht, bleibt der Zeiger still stehen, und man wird finden, dass das Herz ruhig mit schlaffen, ausgedehnten Wänden daliegt. Wird die Reizung des Nerven unterbrochen, so beginnt das Herz wieder zu schlagen, und der Zeiger schwingt im selben Bogen wie vorher.



Fig. 16.

Ein kleiner Teil der Fig. 15; bei stärkerer Vergröfserung gesehen. *A* Wandung der Capillaren; *B* das Gewebe der Schwimmhaut innerhalb der Capillarmaschen; *C* Epithelzellen, welche die Haut bedecken (sie sind nur in der rechten unteren Ecke dargestellt); *D* Kerne dieser Epithelzellen; *E* Pigmentzellen, zusammengezogen, nicht teilweise ausgedehnt wie in Fig. 15; *F* rote Blutkörperchen innerhalb der Capillaren (sie sind beim Frosche elliptisch, ihr Kern nicht sichtbar); *G* ein anderes rotes Blutkörperchen, welches sich durch eine Capillare durchzwängt, deren Durchmesser geringer ist, als sein eigener; *H* ein anderes, welches sich beim Vorübergange um eine Ecke biegt; *K* ein rotes Blutkörperchen, durch die Epidermiszellen hindurch sichtbar; *I* weifses Blutkörperchen. (Die näheren Erörterungen über die Blutkörperchen folgen in der dritten Vorlesung.)

Bei sorgfältiger Schonung kann dieses Experiment mehrere Male wiederholt werden; und nach jedem Stillstande, der durch Reizung des Vagus hervorgebracht wurde, nimmt das Herz seine Thätigkeit wieder von neuem auf. Ganz ähnlich ist der Vorgang bei der Ohnmacht. Nur geht hier der Einfluss vom Gehirn aus und gelangt durch die Vagusnerven zum Herzen.

Nicht ganz so klar ist der Vorgang, welcher zum Herzklopfen führt. Wahrscheinlich sind dabei sympathische Nerven als Leiter irgend einer Erregung im Spiel; doch ist der Gegenstand noch nicht vollkommen genug erforscht.

28. Was wir bisher vom Kreislauf kennen gelernt haben, ist durch Versuche an Tieren vollkommen sicher bewiesen.

29. Der Beweis, dass das Blut im Menschen cirkuliert, kann zwar vollkommen streng, jedoch nur mittelbar geführt werden. Die wichtigsten Punkte des Beweises sind folgende: Erstens, die Anordnung und der Bau der Cirkulationsorgane und insbesondere die Anordnung der verschiedenen Klappen sind, wie Harvey gezeigt hat, derart, dass sie nur einen Blutstrom in der Richtung, wie wir ihn beschrieben haben, zulassen. Aufserdem können wir leicht mit einer Spritze einen Flüssigkeitsstrom von der Vena cava durch das rechte Herz, die Lungen, das linke Herz, die Aorta und die Capillaren zurück zur Vena cava treiben, nicht aber in umgekehrter Richtung. Ferner wissen wir, dass beim lebenden Menschen das Blut fortwährend in den Arterien nach den Capillaren hin fliefst; denn wenn wir eine Arterie unterbinden, schwillt sie an und pulsiert an der dem Herzen zugewandten Seite, während sie an der entgegengesetzten Seite leer wird und die von der Arterie versorgten Körperteile blass und blutleer werden, weil kein Blut mehr in ihre Capillaren gelangt; wenn wir aber eine Arterie durchschneiden, strömt das Blut in stofsweise verstärktem Strome aus dem dem Herzen zugewandten Ende hervor, während aus dem anderen Ende wenig oder gar kein Blut kommt.* Wenn wir dagegen eine Vene unterbinden, verhält sich alles umgekehrt: sie schwillt an dem vom Herzen abgewandten Ende an, und das beweist, dass in

* Dass aus dem unteren, dem Herzen abgewandten Ende überhaupt Blut ausfliefsen kann, rührt offenbar davon her, dass dieses Ende durch das Capillarnetz noch mit anderen, nicht durchschnittenen Arterien zusammenhängt.

ihr der Blutstrom von den Capillaren zum Herzen hin gerichtet ist.

Aber gewisse niedere Tiere, deren Körper ganz oder teilweise durchsichtig ist, bieten leicht einen unmittelbaren Beweis des Kreisumlaufes dar, indem man bei ihnen deutlich das Blut aus den Arterien in die Haargefäſse und aus den Haargefäſsen in die Venen flieſsen sieht, so lange als das Tier lebt und sein Herz in Thätigkeit ist. Das Tier, bei welchem der Kreisumlauf am bequemsten beobachtet werden kann, ist der Frosch. Die Schwimmhaut zwischen seinen Zehen ist sehr durchsichtig, und die in seinem Blute schwimmenden Körperchen sind so groſs, dass man sie leicht sehen kann, wie sie mit dem Blutstrome hindurch schlüpfen, wenn die Zehen auseinandergestreckt werden und die dazwischen liegende Schwimmhaut mit einer selbst nur schwachen Vergröſserung beobachtet wird (vgl. Fig. 15 u. 16).

DRITTE VORLESUNG.

Das Blut und die Lymphe.

1. Um einen richtigen Begriff von den Eigenschaften des Blutes zu erhalten, muss man es mit einem Mikroskop, welches mindestens drei- bis vierhundertmal vergrößsert, untersuchen. Wer mit diesem Instrumente, einer Lupe und einigen Objektträgern und Deckgläschen, wie sie beim Mikroskopieren in Gebrauch sind, versehen ist, wird im Stande sein, dieser Vorlesung vollständig zu folgen.

Die beste Art, kleine Mengen Blut zu erhalten, ist die, dass man eine Schnur ziemlich fest um das oberste Glied des Mittel- oder Ringfingers der linken Hand wickelt. Die Spitze des Fingers wird unmittelbar darauf etwas anschwellen und stärker gefärbt werden infolge des Hindernisses, das sich durch die Unterbindung der Strömung des Blutes in den Venen entgegenstellt. Unter diesen Verhältnissen wird ein leichter Stich mit einer scharfen spitzen Nadel (eine Operation, die kaum etwas Schmerz verursacht) augenblicklich einen großsen Tropfen Blut hervorquellen machen.

Man lasse denselben auf einen Objektträger fallen und bedecke ihn vorsichtig mit einem Deckglas, so dass er flach ausgebreitet wird. Dann lasse man einen anderen Tropfen auf einen zweiten Objektträger fallen und bedecke ihn mit einem umgekehrten Uhr- oder Weinglase, um ihn vor dem Eintrocknen zu bewahren. Dann verfahre man mit einem dritten Tropfen ebenso, setze ihm aber noch einige Körnchen Kochsalz hinzu.

2. Dem bloßsen Auge wird das Blut auf dem ersten Glase von blassrötlicher Farbe und ganz klar und gleichmäßsig erscheinen. Aber wenn man es selbst nur mit einer Taschenlupe

ansieht, wird schon die scheinbare Gleichmäſsigkeit verschwinden und es wird den Eindruck machen, dass auſserordentlich feine gelbrötliche Teilchen, wie Sand- oder Staubkörnchen in einer wässerigen, fast farblosen Flüssigkeit verteilt seien. Unmittelbar nachdem das Blut aus dem Finger entzogen ist, wird man die Teilchen sehr gleichmäſsig in der Flüssigkeit verteilt sehen, aber nach und nach vereinigen sie sich zu kleinen Klümpchen, und die Blutschicht wird mehr oder weniger fleckig.

Jene „Teilchen" sind die sogenannten Blutkörperchen; die fast farblose Flüssigkeit, in welcher dieselben schweben, heiſst Plasma oder Blutflüssigkeit.

Untersuchen wir jetzt die zweite Platte. Der Tropfen Blut hat seine Form nicht verändert und sieht aus, als ob überhaupt keine Veränderung mit ihm vorgegangen wäre. Aber wenn man die Platte etwas neigt, wird man finden, daſs der Tropfen nicht mehr flieſst; und in der That kann man die Platte umwenden, ohne dass der Tropfen, der fest geworden ist, sich verändert, und man kann ihn sogar mit der Spitze eines Federmessers als eine halbkugelförmige gallertartige Masse abheben. Die Masse ist ganz weich und feucht, so dass dieses Festwerden oder die Gerinnung des Bluttropfens nicht etwa durch Eintrocknen veranlasst sein kann.

Auf der dritten Platte werden wir finden, daſs dieser Gerinnungsprozeſs nicht stattgefunden hat, sondern dass das Blut flüssig geblieben ist, wie es beim Verlassen des Körpers war. Das Salz hat also die Gerinnung des Blutes verhindert. Diese sehr einfache Untersuchung lehrt uns also, dass das Blut aus einer fast farblosen Blutflüssigkeit besteht, dem Plasma, in welcher viele gefärbte Körperchen schweben; dass es eine bemerkenswerte Neigung zur Gerinnung hat, und dass diese Gerinnung durch künstliche Mittel verhindert werden kann, z. B. durch Hinzufügung von Salz.

3. Wenn man, anstatt mit der Handlupe zu untersuchen, den Bluttropfen der ersten Platte unter ein Mikroskop bringt, so wird man finden, dass die Blutkörperchen Körper von sehr ausgeprägten Eigentümlichkeiten sind; auch wird man leicht zwei Arten derselben unterscheiden: gefärbte oder rote und farblose Blutkörperchen Die ersteren sind viel zahlreicher als die letzteren und haben eine gelbrötliche Färbung; während die

letzteren, etwas gröfser als die roten und, wie ihr Name anzeigt, blass und ohne Färbung sind.

4. Die Körperchen unterscheiden sich noch in anderer und wichtigerer Hinsicht. Die roten Blutkörperchen sind flache runde Scheiben, mit einem Durchmesser von sechs bis acht Tausendstel Millimeter im Mittel und einer Dicke von ein Viertel hiervon. Es folgt daraus, dass etwa einundeinhalb Millionen von ihnen auf einem ein Quadratcentimeter grofsen Raume liegen können, und dafs der Rauminhalt eines jeden Körperchens nicht $^{1}/_{7,000,000,000}$ von einem Kubikcentimeter übersteigt.

Die breiten Flächen der Scheiben sind nicht flach, sondern konkav, als ob eins das andere eingedrückt hätte. Daher ist das Körperchen in der Mitte dünner, als an den Rändern, und wenn man ein auf der Flachseite liegendes Körperchen unter dem Mikroskop in durchfallendem Lichte betrachtet, so sieht es in der Mitte hell und an den Rändern dunkler aus, oder in der Mitte dunkel und an den Rändern hell, je nach Einstellung des Mikroskops. Wenn die Scheiben in der Flüssigkeit rollen und so zu stehen kommen, dass sie dem Auge ihre schmalen Ränder darbieten, sehen sie aus wie Stäbchen.

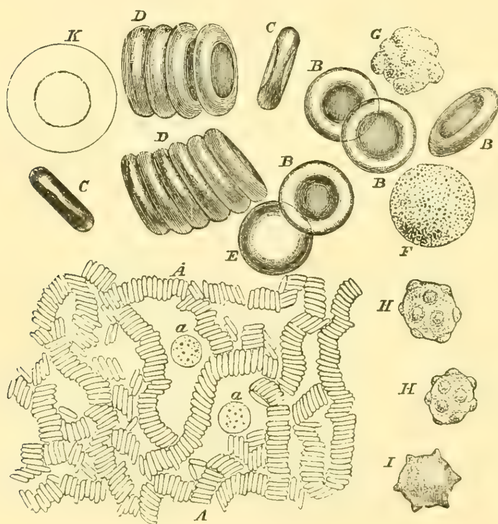


Fig. 17.

Rote und weifse Blutkörperchen. *A* schwache Vergröfserung. Die roten Blutkörperchen sind geldrollenartig angeordnet; bei *a*, *a* sieht man weifse Blutkörperchen. *B* rote Blutkörperchen, von der Fläche gesehen, stärker vergröfsert; *C* ebensolche, von der Seite gesehen. *D* desgleichen, in Rollen, noch stärker vergröfsert; *E* ein durch Aufnahme von Wasser kugelig angeschwollenes Blutkörperchen. *F* Ein weifses Blutkörperchen, bei derselben Vergröfserung wie *B*; *G* ein ebensolches, welches Fortsätze ausgesendet hat; *K* ein mit Essigsäure behandeltes; man sieht in ihm den Kern; die Vergröfserung ist dieselbe wie bei *D*. *H*, *I* Rote Blutkörperchen, geschrumpft und mit Zacken besetzt.

Alle diese Verschiedenheiten des Aussehens kann man sich dadurch verständlich machen, dass man ein rundes Plätzchen oder einen runden Zwieback, Körper, die in der Form den roten Körperchen ähnlich sind, vor dem Auge hin und her bewegend in verschiedene Lagen bringt.

Die roten Körperchen sind sehr weiche, biegsame und elastische Körper, so dass sie leicht durch Öffnungen und Gänge, die enger sind als ihre eigenen Durchmesser, schlüpfen können, nachher aber gleich wieder ihre gewöhnliche Form annehmen (vgl. Fig. 16, G H). Selbst wenn man sie mit starken Vergröfserungen untersucht, sieht man an ihnen keine deutliche Struktur; sie erscheinen vollkommen gleichmäfsig. Wenn man aber Blut gefrieren und wieder auftauen lässt, und dies mehrmals wiederholt, dann tritt der Farbstoff, welcher dem Körperchen seine gelblich rote Farbe verleiht, aus demselben aus und löst sich im Plasma, welches nun gefärbt erscheint. Von dem Körperchen aber bleibt dann ein ungefärbter, blasser und darum schwer sichtbarer Teil zurück, welcher eine Art von Netzwerk feiner Fäden darstellt, von der Form des ursprünglichen Körperchens. Aus diesen und ähnlichen Erfahrungen ist man zu dem Schluss gekommen, dass ein rotes Blutkörperchen aus zwei Teilen besteht: dem ungefärbten Stroma (eben jenem Netzwerk) und dem in dasselbe eingelagerten und fest mit ihm verbundenen roten Farbstoff, Hämoglobin genannt. Das Hämoglobin ist ein chemisch sehr zusammengesetzter Körper und kann durch geeignete Mittel zerlegt werden in einen ungefärbten eiweifsartigen Stoff, welcher dem Globulin nahe steht, und einen braunroten Farbstoff, Hämatin.

Früher glaubte man, das rote Blutkörperchen sei ein kleines, mit roter Flüssigkeit gefärbtes Säckchen. Aus dem Gesagten geht aber hervor, dass wir uns dasselbe vielmehr als eine sehr elastische, halbfeste Masse, ähnlich einem Klümpchen einer Gallerte vorzustellen haben. Ein solches kann Wasser anziehen und dadurch quellen, oder Wasser abgeben und dadurch schrumpfen. So erklären sich die merkwürdigen Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn man die Dichtigkeit der Blutflüssigkeit verändert. Wenn z. B. dieselbe durch Auflösung von Salzen oder Zucker dichter gemacht wird, so tritt Wasser aus den Bestandteilen des Körperchens zu der dichteren Blutflüssig-

keit über, und das Körperchen wird noch flacher als es schon ist und schliefslich zackig (Fig. 17, H, I). Wird dagegen die Blutflüssigkeit mit Wasser verdünnt, so dringt letzteres auch in die Bestandteile des Körperchens und verdünnt diese, so dass die Körperchen aufschwellen und sogar kugelförmig werden; und wenn man dem Blute abwechselnd schwache und starke Lösungen zufügt, so werden die Körperchen dadurch abwechselnd kugelförmig und scheibenförmig. Wenn man die Körperchen der Einwirkung von Kohlensäuregas aussetzt, scheinen sie anzuschwellen; Sauerstoffgas im Gegenteile scheint sie zusammenschrumpfen zu lassen.



Fig. 18.

Verschiedene Formen eines und desselben farblosen Blutkörperchens aus Menschenblut. Vergröfserung etwa 600. Der Zeitabstand zwischen den Formen *a*, *b*, *c*, *d* war je eine Minute, zwischen *d* und *e* zwei Minuten, so dass die ganze Reihe von Veränderungen von *a* bis *e* in fünf Minuten durchlaufen wurde.

5. Die farblosen Körperchen sind gröfser als die roten, ihr Durchmesser beträgt im Mittel acht Tausendstel Millimeter. Sie unterscheiden sich noch auffälliger von den roten durch die aufserordentliche Unregelmäfsigkeit ihrer Form, und durch ihre Klebrigkeit, welche macht, dass sie gern an der Glasplatte festhaften, während die roten Körperchen umherschwimmen und frei eins über das andere rollen.

Eine noch bemerkenswertere Eigenschaft der farblosen Körperchen als die Unregelmäfsigkeit ihrer Gestalt ist die fortwährende Veränderung ihrer Form, welche sie darbieten, so lange sie leben. Die Form eines roten Körperchens wird nur durch Einflüsse von aufsen verändert, wie der erwähnte Einfluss des Wechsels im Wassergehalt oder auch mechanische Einwirkungen wie Druck oder dergleichen; die farblosen Körperchen dagegen zeigen fortwährend Veränderungen als Folge von Vorgängen, die sich in ihrer eigenen Masse begeben. Um diese Veränderungen gut zu sehen, gebraucht man ein Mikroskop, das fünf- bis sechshundertmal vergröfsert; und selbst dann ist bei der Langsamkeit, mit der die Veränderungen erfolgen, die beste

Art sie festzustellen die, dass man eine Zeichnung von einem gegebenen farblosen Körperchen in Zwischenräumen von je einer bis zwei Minuten macht. So ist verfahren worden mit dem Körperchen, welches in Fig. 18 dargestellt ist; *a* zeigt die Form des Körperchens, als es zuerst betrachtet wurde; *b* eine Minute später; *c* diejenige am Ende der zweiten Minute; *d* diejenige am Ende der dritten und *e* diejenige am Ende der fünften Minute.

Sorgfältige Beobachtungen eines farblosen Körperchens zeigen in der That, dass jeder Teil seiner Oberfläche fortwährend sich verändert — entweder durch eigenthätige Zusammenziehung oder durch Ausdehnung von seiten anderer, sich zusammenziehender Abschnitte. Ein solches Körperchen zeigt die Fähigkeit der Zusammenziehung in ihrer niedrigsten und ursprünglichsten Form. (Weiteres hierüber siehe in Vorl. VII.)

6. So lange als sie so thätig und lebendig sind, kann man keine genaue Kenntnis über den Bau der farblosen Körperchen erhalten. Das farblose Körperchen scheint dann aus jener eigentümlichen, als Protoplasma bezeichneten, feiner oder gröber körnigen Masse zu bestehen, an der man weitere Unterschiede nicht sehen kann. So erscheint es insbesondere auch dann, wenn es schliefslich zur Ruhe gekommen und die Form einer Kugel angenommen hat. Zuweilen jedoch, wenn das Körperchen bei seinen Bewegungen sich zu einer recht dünnen Schicht ausbreitet, kann man in seinem Innern einen rundlichen Körper sehen, welcher anders aussieht als der übrige Inhalt. Dies ist der sogenannte Kern oder Nucleus. Wenn man das Blut mit Wasser oder noch besser mit Wasser, das schwach mit Essigsäure angesäuert ist, verdünnt, so schwillt das Körperchen und wird durchsichtig, da viele der feinen Körnchen aufgelöst werden. Hierdurch wird jener runde Körper sichtbar. Auch wenn man das Blut mit Färbmitteln behandelt, wie z. B. Karmin oder Campecheholz, wird meistens der Kern stärker gefärbt als der Rest des Körperchens und dadurch besser sichtbar (vgl. Fig. 17, K).

Das farblose Körperchen mit seinem Kerne gehört in die Klasse der sogenannten kernhaltigen Zellen. Man wird bemerken, dass es frei in der Blutflüssigkeit lebt und eine selbstständige Fähigkeit sich zusammenzuziehen besitzt. In der That, abgesehen davon, dass es von der Blutflüssigkeit in bezug auf seine Lebensbedingungen abhängig ist, kann man es jenen ein-

fachen Organismen vergleichen, welche man in stehendem Wasser findet, und welche Amoeben genannt werden.

7. Während die farblosen Körperchen also kernhaltige Zellen sind, haben die roten Körperchen keinen Kern. Dies gilt nicht blofs für die roten Blutkörperchen des Menschen, sondern für die aller Säugetiere. Bei den Vögeln, Reptilien und Fischen dagegen haben auch die roten Blutkörperchen Kerne und im embryonalen* Zustand sogar auch die der Säugetiere.

Die Zahl der Körperchen, sowohl der roten als der farblosen, wechselt sehr in der Zeit. Man hat Ursache anzunehmen, dass beide Arten von Körperchen fortwährend zerstört und durch neugebildete ersetzt werden. Auch hat man Gründe anzunehmen, dafs die Bildung der farblosen Körperchen, oder wenigstens eines Teils derselben, in den Lymphdrüsen stattfinde, und dass sie von da durch die Lymphgefäfse ins Blut gelangen. Von der Entstehung der roten Blutkörperchen kann man bis jetzt nur sagen, dass sie wahrscheinlich in besonderen Teilen des Körpers entstehen, indem Hämoglobin in Zellen, welche vorher keinen Farbstoff enthielten, auftritt. Ob es aber die weifsen Blutkörperchen sind oder andere Zellen von einer besonderen Art, und woher es kommt, dass die roten Blutkörperchen der Säugetiere keine Kerne haben, das ist noch nicht ausgemacht.

8. Wenn das Blut abstirbt, unterliegen seine verschiedenen Bestandteile, die wir bis jetzt beschrieben haben, bemerkenswerten Veränderungen.

Die farblosen Körperchen verlieren ihre Bewegungsfähigkeit, verändern sich aber sonst nur wenig. Sie neigen weder dazu, untereinander noch mit den roten Körperchen zusammen zu kleben, sondern hängen sich an das Glasplättchen, auf welches sie gelegt sind.

Ganz anders ist es mit den roten Blutkörperchen, die zuerst, wie schon gesagt, umherschwimmen und rollen und sich ganz frei eins über das andere schieben. Nach kurzer Zeit (deren Länge bei verschiedenen Personen wechselt, aber gewöhnlich zwei bis drei Minuten währt) scheint es jedoch, als ob sie klebrig werden und eine Neigung zusammenzukleben erhalten; und das

* Ein Embryo ist das im Anfange der Entwickelung befindliche ungeborene Junge irgend eines Geschöpfes.

nimmt immer zu, bis zuletzt die allermeisten von ihnen mit ihren breiten Flächen aneinander kleben, so dafs sie lange Reihen bilden, welche Geldrollen ähnlich sehen. Dadurch, dass das Ende einer Rolle an die Seitenfläche einer anderen anklebt, entsteht ein Netzwerk mit mehr oder weniger grofsen Maschen (Fig. 17, A).

Die Körperchen bleiben so für eine gewisse Zeitdauer aneinander hängen, trennen sich aber gelegentlich und schwimmen wieder frei umher. Wenn man etwas Wasser oder verdünnte Säuren oder eine Salzlösung hinzufügt, dann brechen die Rollen sogleich auseinander. Von diesem Zusammenkleben der Körperchen zu netzartigen Formen kommt der Wechsel in dem Aussehen einer mit der Lupe beobachteten dünnen Blutschicht, von welchem oben die Rede war. So lange die Körperchen gesondert sind, erscheint die Masse wie feinster Sand; aber wenn sie zusammenkleben, sieht die Schicht ungleichmäfsig und gefleckt aus.

Die roten Körperchen legen sich selten oder nie alle in Rollen zusammen, einige bleiben immer frei zwischen den Maschen des Netzes.

Wenn sie mit der Luft in Berührung kommen, oder einem Drucke ausgesetzt werden, bedecken sich viele der roten Körperchen mit kleinen Knötchen, so dass sie wie winzig kleine Maulbeeren aussehen — eine Erscheinung, die fälschlicherweise für ein Zerfallen oder eine freiwillige Teilung der Körperchen gehalten worden ist (Fig. 17, H I).

9. Aber die roten Körperchen erleiden gelegentlich eine noch wichtigere Veränderung. Die eigentümliche rote Substanz, die die Hauptmasse derselben ausmacht, und welche wir als Blutfarbstoff oder Haemoglobin bezeichnet haben (vgl. § 4), sondert sich unter gewissen Umständen in krystallinischer Form ab. Beim Menschen haben diese Krystalle die Form von Prismen; in anderen Tieren nehmen sie andere Formen an. Menschliches Blut krystallisiert nur schwer, aber das vom Meerschweinchen, von der Ratte oder vom Hunde viel leichter. Wenn man Hunde- oder Rattenblut, welchem man den Faserstoff entzogen hat (vgl. § 12), mit etwas Äther schüttelt und es in der Kälte einige Stunden stehen lässt, so setzt sich ein Bodensatz ab, welcher sich bei mikroskopischer Untersuchung als aus langen, dünnen Nadeln bestehend ausweist.

10. Zehn oder fünfzehn Minuten nach dem Ausfließsen des Bluts aus den Gefäßsen sieht die Blutflüssigkeit nicht mehr klar aus. Sie zeigt dann eine großse Menge außserordentlich feiner Fasern einer Substanz, die Faserstoff oder Fibrin genannt wird, welche von der Blutflüssigkeit abgeschieden wurden und dieselbe in allen Richtungen durchschneiden, indem sie sich untereinander und mit den Körperchen verbinden und das Ganze zu einer halbfesten Masse vereinigen. Dieses Absetzen von Fibrin ist die Ursache des Festwerdens oder Gerinnens des Bluttropfens auf dem zweiten unserer oben erwähnten Glasplättchen. Aber die Gerinnung, welche von sehr großser Wichtigkeit ist, kann nicht richtig begriffen werden, wenn wir uns nur auf die Beobachtung eines Bluttropfens beschränken. Dazu müssen wir eine gröfsere Blutmenge nehmen.

11. Wenn bei einem Aderlasse, d. h. bei der Eröffnung einer Vene mit einer Lanzette, eine Menge Blut in einer Schüssel gesammelt wird, so ist dasselbe zuerst vollkommen flüssig; aber schon nach wenigen Minuten nimmt es infolge der Gerinnung eine gallertige Beschaffenheit an und wird schließslich so fest, daß man die Schüssel umkehren kann, ohne daß ein Tropfen ausfließst. Anfangs bildet die geronnene Masse eine gleichmäßsige rote Gallerte; bald aber erscheinen auf der Oberfläche derselben und an den Rändern des Gefäßses Tropfen einer gelblichen, wässerigen Flüssigkeit. Diese Tropfen nehmen an Zahl zu und fließsen zusammen und nach einiger Zeit sieht man, dass die ursprünglich gleichförmige rote Gallerte sich getrennt hat in zwei verschiedene Bestandteile, — der eine ist eine klare gelbliche Flüssigkeit, der andere eine rote, halbfeste Masse, welche in der Flüssigkeit liegt und deren Oberfläche zuweilen blasser in der Farbe und fester ist, als ihre unteren Teile.

Die Flüssigkeit wird das Serum genannt, die halbfeste Masse Blutkuchen oder Crassamentum. Nun ist es unzweifelhaft, dass der Blutkuchen die Blutkörperchen enthält, die durch irgend eine andere Substanz zusammengehalten werden, und wenn man einen kleinen Teil des Blutkuchens mikroskopisch untersucht, wird man finden, dass die letztere jene faserig erscheinende Masse, das Fibrin ist, welches man in der dünnen Blutschicht sich hat bilden sehen. Also ist der Blutkuchen gleich den Körperchen samt dem Fibrin der Blutflüssigkeit, während das Serum

die Blutflüssigkeit nach Abzug der in ihr gelöst gewesenen fibrinösen Bestandteile ist.

12. Die Blutkörperchen sind ein wenig schwerer als die Blutflüssigkeit und sinken daher, wenn das Blut ruhig steht, sehr langsam auf den Grund. Wenn das Blut nicht gar zu schnell gerinnt, was natürlich dem weiteren Sinken der Körperchen Einhalt thut, dann kann es kommen, dass der obere Teil des Blutkuchens weniger Körperchen enthält und heller gefärbt ist, als der untere Teil. Zuweilen tritt auch die Gerinnung noch langsamer ein, und dann kann es geschehen, dass die oberen Schichten der Blutflüssigkeit schon ganz frei von Blutkörperchen sind, ehe sich das Fibrin gebildet hat. In diesem Falle ist die oberste Lage des Blutkuchens fast weifs und erhält dann den Namen Speckhaut. Man sieht dies am leichtesten an Pferdeblut, weil dieses überhaupt langsam gerinnt, besonders wenn man es nach der Entleerung schnell stark abkühlt. Es scheint auch Fälle zu geben, in denen die Blutkörperchen sich zu Klumpen zusammenballen und dann schneller sinken, weil sie dann die Widerstände leichter überwinden. In diesen Fällen kann es gleichfalls zur Bildung einer Speckhaut kommen.

Nachdem sich der Blutkuchen gebildet hat, schrumpft das Fibrin ein und presst viel von dem Serum, das in seinen Maschen enthalten ist, aus, und unter sonst gleichen Umständen zieht es sich um so mehr zusammen, je weniger Körperchen sich in ihm finden. Wenn sich eine Speckhaut gebildet hat, zieht sich diese daher gewöhnlich so stark zusammen, dass der Blutkuchen infolgedessen an seinem oberen Ende die Form einer Untertasse annimmt.

Die Speckhaut ist also Fibrin, welches auf natürliche Art von den roten Körperchen getrennt ist; dieselbe Trennung kann man künstlich herbeiführen, wenn man das Blut, gleich nachdem es aus der Ader entzogen ist, mit Ruten peitscht, bis seine Gerinnung vollendet ist. Unter diesen Umständen setzt sich das Fibrin an den Ruten an, und es bleibt eine rote Flüssigkeit zurück, die aus dem Serum samt den roten Körperchen besteht und auch noch viele farblose Körperchen enthält.

13. Die Gerinnung des Blutes wird beschleunigt, verzögert oder zeitweise verhindert durch verschiedene Umstände.

a. Temperatur. — Eine hohe Temperatur beschleunigt die

Gerinnung des Blutes, eine niedere Temperatur verzögert sie so sehr, dass Blut, welches bis nahe an den Gefrierpunkt abgekühlt ist, sehr lange Zeit flüssig bleiben kann.

b. Zusatz von Salzen zum Blute. — Viele Salze und besonders Lösungen von Soda und gewöhnlichem Kochsalze verhindern, in gehöriger Menge im Blute aufgelöst, seine Gerinnung; aber die Gerinnung erfolgt, wenn man wieder Wasser hinzufügt, so dafs dadurch die Salzlösung verdünnt wird.

c. Berührung mit lebendem oder nicht lebendem Stoffe. — Berührung mit nicht lebendem Stoffe beschleunigt die Gerinnung. Daher gerinnt das Blut, welches in eine Schüssel gelassen wird, zuerst da, wo es mit den Wänden der Schüssel in Berührung kommt; und ein Draht, in eine lebende Vene gesteckt, bedeckt sich mit Fibrin, trotzdem vollkommen flüssiges Blut ihn umgiebt. Hierauf beruht es auch, dass beim Schlagen des Blutes das Fibrin sich an den Ruten ausscheidet.

Andererseits verzögert oder vermindert unmittelbare Berührung mit lebendigem Stoffe die Gerinnung des Blutes. So bleibt Blut sehr lange Zeit flüssig in einem Stück Vene, welches an beiden Enden zugebunden ist.

Das Herz einer Schildkröte bleibt für längere Zeit (mehrere Stunden und selbst Tage) lebendig, nachdem es aus dem Körper herausgenommen worden ist; und so lange es lebendig bleibt, gerinnt auch das in ihm enthaltene Blut nicht, trotzdem ein Teil desselben Blutes, wenn es aus dem Herzen heraus genommen ist, nach wenigen Minuten gerinnt.

Blut, das aus dem Herzen einer Schildkröte entnommen ist und für einige Zeit durch Kälte am Gerinnen verhindert wurde, kann man in das herausgenommene aber noch lebende Herz giefsen und es wird dann nicht gerinnen.

Frisch abgesetztes Fibrin wirkt ähnlich wie lebender Stoff, indem gerinnbares Blut für längere Zeit in Röhren, die mit solchem Fibrin ausgekleidet sind, flüssig bleibt.

14. Die Gerinnung des Blutes ist ein physikalisch-chemischer Vorgang, der abhängig ist von den Eigenschaften gewisser Bestandteile der Blutflüssigkeit, ganz abgesehen von den Lebenseigenschaften dieser Flüssigkeit. Dies wird durch folgende Thatsache bewiesen. Setzt man zu frischem Blut, oder zu Blutplasma, welches durch Kälte am Gerinnen verhindert ist, nach und nach

Kochsalz zu, so erhält man, wenn eine gewisse Menge zugefügt ist, einen weifsen, flockigen Niederschlag. Man kann denselben durch Filtrieren von der Flüssigkeit trennen und durch Auswaschen mit gesättigter Kochsalzlösung, in welcher er unlöslich ist, reinigen. Die so erhaltene Substanz ist nicht Fibrin; denn Fibrin ist in Wasser vollkommen unlöslich; jener Niederschlag hingegen löst sich in destilliertem Wasser zu einer klaren, durchsichtigen Flüssigkeit. Aber diese Flüssigkeit wird bald zähe, gesteht dann zu einer Gallerte und scheidet zuletzt einen unverkennbaren Kuchen von echtem Fibrin aus. Man kann dies verhindern oder verzögern, wenn man die Flüssigkeit stark abkühlt oder mit solchen Mitteln behandelt, welche auch die Blutgerinnung verhindern oder verzögern. Die Substanz, von der wir sprechen, ist also kein Fibrin, aber sie ist eine Vorstufe des Fibrin, d. h. sie ist etwas, das durch eine Umänderung irgend welcher Art in Fibrin verwandelt wird. Wir können daraus schliefsen, dass die Gerinnung des Bluts zu stande kommt dadurch, dass eine im Blut vorhandene lösliche Substanz in unlösliches Fibrin verwandelt wird.

Der Vorgang dieser Umwandlung ist durchaus noch nicht vollkommen erforscht. Doch sind folgende Thatsachen beachtenswert: der Herzbeutel und andere seröse Höhlungen des Körpers enthalten eine klare Flüssigkeit, welche aus den Blutgefäfsen ausgeschwitzt worden ist, und welche dieselben Elemente wie das Blut enthält, ohne die Blutkörperchen. Diese Flüssigkeit gerinnt manchmal freiwillig, wie die Blutflüssigkeit, aber sehr oft zeigt sie keine Neigung zum freiwilligen Gerinnen. Wenn dies der Fall ist, so kann man sie sofort dazu bringen, zu gerinnen und einen wahren fibrinhaltigen Kuchen abzusetzen, wenn man ihr ein wenig geschlagenes Blut oder etwas Blutserum hinzufügt. Wenn man nun zu solcher seröser Flüssigkeit, welche von selbst nicht gerinnt, wohl aber nach Zusatz von Blut oder Blutserum nach und nach Kochsalz zufügt, so wird man zwar einen ganz ähnlichen Niederschlag erhalten wie aus Blut. Aber wenn man diesen Niederschlag in destilliertem Wasser löst, so wird die Lösung nicht von selbst gerinnen, wohl aber nach Zusatz einer geringen Menge von geschlagenem Blut oder Blutserum. Also auch in diesen serösen Flüssigkeiten ist eine Substanz vorhanden, welche als eine Vorstufe des Fibrins anzusehen

ist, d. h. eine Substanz, aus welcher Fibrin entstehen kann und welche man daher Fibrinogen genannt hat. Dieselbe Substanz muss auch in dem Niederschlag enthalten sein, welchen man durch Kochsalz aus dem Blut erhält. Aber in diesem muss noch etwas anderes vorhanden sein, was die Umwandelung von Fibrinogen in Fibrin herbeiführt. Und dieses andere Etwas fehlt offenbar in den serösen Flüssigkeiten sowie in dem Niederschlag, welchen man aus denselben erhält; und darum können diese nicht von selbst gerinnen, sondern erst nach Zusatz einer wenn auch geringen Menge von geschlagenem Blut oder Blutserum.

Aufser dem Fibrinogen findet man in dem Salzniederschlag aus Blutplasma einen Körper, welcher als Globulin oder Paraglobulin bezeichnet wird. Er ist dem Fibrinogen in seinen chemischen Eigenschaften sehr ähnlich, und es ist vielfach angenommen worden, dass durch eine Wechselwirkung zwischen diesem Paraglobulin und dem Fibrinogen das Fibrin entstehe. Aber gegen diese Annahme sind wichtige Bedenken erhoben worden. Aufserdem sprechen gewichtige Gründe dafür, dass bei der Umwandlung von Fibrinogen in Fibrin eine hervorragende Rolle einem Stoffe zukomme, der allerdings im Blut, nachdem es aus der Ader gelassen worden, nur in sehr geringer Menge vorhanden ist, aber zu der Klasse der sogenannten Fermente gehört, von welchen bei der Besprechung der Verdauung noch weiter die Rede sein wird. Fermente nennt man nämlich Stoffe, welche die Fähigkeit haben, in anderen Stoffen, mit denen sie in Berührung kommen, chemische Veränderungen zu veranlassen, ohne dass sie selbst dabei Verbindungen eingehen. Gerade aus dem letzteren Grunde genügen schon sehr geringe Mengen eines Ferments, um Veränderungen in grofsen Mengen anderer Stoffe herbeizuführen. Wahrscheinlich also haben wir es auch in unserem Falle mit einem solchen Fibrinferment zu thun, welches die Fibrinbildung veranlasst, ohne selbst Bestandteil des entstehenden Fibrins zu werden.

Fassen wir alles nochmals zusammen, so können wir also sagen: Fibrin ist in dem Blut, welches aus den Adern kommt, noch nicht vorhanden. Es entsteht erst nachträglich unter der Einwirkung des Fibrinferments auf das Fibrinogen. Ob noch andere Substanzen dabei eine Rolle spielen, bleibt unentschieden.

15. Der Spruch: „Blut ist dicker als Wasser“, ist wörtlich

wahr, denn das Blut ist nicht nur „verdickt“ durch die Blutkörperchen, von denen man ausgerechnet hat, dafs nicht weniger als vier bis fünf Millionen in einem Kubikmillimeter enthalten sind, sondern es wird auch noch zähe durch die festen Substanzen, die in der Blutflüssigkeit aufgelöst sind. Das Blut wird dadurch auch schwerer als Wasser, sein specifisches Gewicht beträgt ungefähr 1,055. In anderen Worten, zwanzig Kubikcentimeter Blut haben ungefähr das gleiche Gewicht wie einundzwanzig Kubikcentimeter Wasser.

Die Körperchen sind schwerer als die Blutflüssigkeit, und der Rauminhalt, welchen sie alle zusammen einnehmen, ist gewöhnlich etwas geringer als derjenige der Blutflüssigkeit. Von farblosen Körperchen kommen gewöhnlich nicht mehr als drei oder vier auf je tausend der roten Körperchen; aber ihre Zahl wechselt sehr, indem sie sich kurz nach der Aufnahme von Nahrung vermehren und in den Zwischenzeiten zwischen den Mahlzeiten wieder seltener werden.

Das Blut ist warm, seine Temperatur beträgt ungefähr 38° bis 40° C.

16. Chemisch betrachtet ist das Blut eine alkalische Flüssigkeit, die aus Wasser, aus festen und gasigen Stoffen besteht. Die Verhältnisse dieser verschiedenen Bestandteile wechseln nach Alter, Geschlecht und zufälligen Umständen, aber die folgende Aufstellung giebt die Durchschnittszahlen ziemlich genau an:

In je hundert Teilen Blut sind neunundsiebzig Teile Wasser und einundzwanzig Teile feste Bestandteile; in anderen Worten, das Wasser und die festen Bestandteile des Blutes stehen zu einander ungefähr in gleichem Verhältnisse, wie der Stickstoff und der Sauerstoff der Luft. Oberflächlich ausgedrückt kann man sagen, ein Fünftel des Blutes ist feste, trockene Masse und vier Fünftel Wasser. Von den einundzwanzig Teilen trockener Bestandteile gehören zwölf ($^4/_7$) den Körperchen an. Von den übrigen neun sind ungefähr zwei Drittel (6,7 Tl. = $^2/_7$) Albumin (eine Substanz, welche dem Eiweifse der Eier sehr ähnlich ist und wie dieses in der Hitze gerinnt) und ein Drittel (= $^1/_7$ der ganzen festen Masse) besteht aus einer Mischung von Salzen, Fetten und zuckerartigen Stoffen, verschiedenen Produkten der Zersetzung des Körpers und aus Fibrin. Die Menge des letztgenannten Bestandteiles ist sehr klein im Verhältnisse zu der

wichtigen Rolle, die er beim Gerinnungsprozesse spielt. Gesundes Blut setzt in der That bei der Gerinnung nicht mehr als zwei bis vier Teile Fibrin auf tausend Gewichtsteile ab.

Die gasigen Bestandteile des Blutes nehmen, wenn sie aus demselben entfernt worden sind, etwas mehr als die Hälfte des Rauminhaltes des Blutes ein, d. h. 100 ccm Blut enthalten etwa 60 ccm absorbiert und gebunden. Man findet im Blut Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff, also dieselben Gase wie jene, welche in der Atmosphäre sind, aber in ganz verschiedenen Verhältnissen; denn während die Luft fast drei Viertel Stickstoff, ein Viertel Sauerstoff und nur eine Spur Kohlensäure enthält, ist die mittlere Zusammensetzung der Blutgase ungefähr zwei Drittel Kohlensäure, etwas weniger als ein Drittel Sauerstoff und nicht ganz ein Zehntel Stickstoff.

Es ist wichtig zu bemerken, dafs das Blut weit mehr Sauerstoffgas enthält, als reines Wasser bei derselben Temperatur und unter demselben Drucke absorbiert enthalten könnte.

Diese Fähigkeit, den Sauerstoff festzuhalten, scheint fast nur von den Blutkörperchen abzuhängen, erstens weil Serum allein kein gröfseres Absorptionsvermögen für Sauerstoff hat, als reines Wasser; und zweitens, weil die Blutkörperchen, wenn sie in reinem Wasser statt in Serum aufgeschwemmt sind, gleichfalls Sauerstoff gierig aufnehmen. Der solcherart von den roten Blutkörperchen festgehaltene Sauerstoff wird aber sehr leicht abgegeben und kann zur Oxydation anderer Körper dienen, kann auch von denselben durch Auspumpen mit der Luftpumpe getrennt werden. Nach alledem scheint es, dass der Sauerstoff nicht einfach absorbiert ist, sondern in einer Art lockerer Verbindung mit einem Bestandteile des Blutes, welcher in den Blutkörperchen enthalten ist. Dieser Bestandteil muss aber das Hämoglobin sein, da Lösungen desselben sich gerade so verhalten wie Blut.

Das Blut enthält auch mehr Kohlensäure, als reines Wasser bei derselben Temperatur und demselben Druck absorbieren könnte. Aber dieser Überschuss von Kohlensäure wird nicht wie der Sauerstoff von den Blutkörperchen gebunden, sondern vom Serum, wahrscheinlich von den in ihm gelösten alkalischen Salzen.

Die Blutkörperchen unterscheiden sich chemisch vom Plasma, indem sie einen grofsen Teil des Fettes und der Phosphate, alles Eisen und fast alles Kali des Blutes enthalten, während anderer-

seits das Plasma zum bei weitem gröſsten Teile die Chlorverbindungen und das Natron enthält.

17. Das Blut Erwachsener enthält mehr feste Bestandteile, als dasjenige von Kindern, und das Blut der Männer mehr als das der Frauen, aber der Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern ist kaum angedeutet bei Personen von schlaffer oder, wie man auch wohl sagt, lymphatischer Konstitution.

Durch Fleischnahrung wird die Zahl der roten Körperchen vermehrt, durch pflanzliche Nahrung und Fasten wird sie vermindert. Blutverluste haben dieselbe Wirkung in noch höherem Grade, indem die Menge der roten Körperchen verhältnismäſsig durch sie viel mehr abnimmt als diejenige der anderen festen Bestandteile des Blutes.

18. Die Gesamtmenge des Blutes, welche im Körper enthalten ist, wechselt zu verschiedenen Zeiten, und die genaue Bestimmung derselben ist sehr schwierig. Man kann sie wahrscheinlich im Durchschnitte auf nicht weniger als ein Dreizehntel des Körpergewichtes schätzen.

19. Die Verrichtung des Blutes besteht darin, allen Teilen des Körpers Nahrung zuzuführen und die verbrauchten Stoffe aus denselben wegzuführen. Man kann sagen, dass alle Gewebe vom Blut erhalten werden. Aus ihm entnehmen sie alle Stoffe, die sie nötig haben, und an dasselbe geben sie alle verbrauchten Stoffe ab, deren sie nicht mehr bedürfen. Es ist durchaus für die Erhaltung jedes Teiles des Körpers notwendig, dass er immer in solcher Beziehung zu einem Blutstrome steht, dass Stoffe frei aus dem Blute zu ihm und von ihm zum Blute gelangen können, indem sie durch die Wände der Gefäſse, in welchen das Blut enthalten ist, durchsickern. Und dieser belebende Einfluss ist an die Blutkörperchen gebunden. Der Beweis für diese Behauptungen liegt in folgenden Versuchen: Wenn die Gefäſse eines Gliedes bei einem lebenden Tiere in solcher Weise unterbunden werden, daſs dadurch der Blutzufluſs zu dem Gliede abgeschnitten, ohne dass es auf irgend eine andere Art beschädigt wird, so werden sich alle Zeichen des Todes einstellen. Das Glied wird blsas und kalt werden, es wird seine Empfindlichkeit verlieren, und die Willensthätigkeit wird nicht länger Macht über dasselbe haben; es wird starr werden und am Ende abfallen und zerfallen. Aber wenn die Unterbindung wieder gelöst wird, ehe

die Totenstarre sich vollkommen ausgebildet hat, und nun das Blut ungehindert wieder zu dem Gliede strömen kann, so wird die begonnene Starre bald wieder schwinden, die Temperatur des Teiles steigt, die Empfindlichkeit der Haut kehrt zurück, der Wille gewinnt seine Kraft über die Muskeln wieder, kurz der Teil erlangt seine normale Beschaffenheit wieder.

Wenn man, statt das Blut des operierten Tieres einfach wieder zufliefsen zu lassen, Blut durch Peitschen von seinem Fibringehalte befreit, so dass es aber noch seine Körperchen behält, und man dann solches Blut künstlich durch die Gefäfse des unterbundenen Gliedes strömen lässt, so wird es gerade so belebend wirken, wie vollständiges Blut; während andererseits Serum (welches gleich ist gepeitschtem Blute ohne seine Körperchen) diese Wirkung nicht hat.

Es ist nicht notwendig, dass das Blut, welches auf diese Art künstlich eingeflöfst wird, unbedingt von dem dem Versuche unterworfenen Tiere stammt. Menschen und Hunde, die sich bis zum Scheintode verblutet haben, können sogleich und vollständig wiederbelebt werden, indem man ihre Blutgefäfse mit Blut von anderen Menschen oder Hunden füllt, eine Operation, die unter dem Namen Transfusion bekannt ist.

Es ist auch nicht unbedingt für den Erfolg dieser Operation nötig, dafs das zur Transfusion verwendete Blut einem Tiere derselben Spezies oder Art angehöre. Das Blut eines Pferdes wird immer einen Esel wieder beleben können, und im allgemeinen kann man sagen, dass das Blut eines Tieres ohne schädliche Folge durch dasjenige eines anderen einer nahe verwandten Art ersetzt werden kann, während das Blut eines weniger verwandten Tieres mehr oder weniger schädlich sein, ja sogar unmittelbar den Tod veranlassen kann.

20. Die Lymphe, welche sich in den Lymphgefäfsen bewegt, ist wie das Blut eine alkalische Flüssigkeit, welche aus Plasma und Körperchen besteht und welche durch Ausscheidung von Fibrin aus der Flüssigkeit gerinnt. Die Lymphe unterscheidet sich vom Blute dadurch, dafs sie nur farblose Körperchen und nur sehr wenig feste Bestandteile enthält, welche nur ungefähr fünf Prozent ihres Gewichtes betragen. Lymphe kann man in der That ansehen als Blut ohne rote Körperchen, aber stark

mit Wasser verdünnt; denn sie ist weniger dicht als das Blutserum, welches ungefähr acht Prozent feste Stoffe enthält.

Eine Menge Flüssigkeit ähnlich jener des Blutes, wird wahrscheinlich täglich aus dem Lymphsystem in das Blut entleert. Diese Flüssigkeit ist zum grofsen Teile reiner Überschuss des Blutes selbst, Blutflüssigkeit, welche aus den Haargefäfsen in die Gewebe ausgeschwitzt wurde und deshalb nicht von dem Venenstrome zurückgeleitet werden konnte. Der Rest stammt her von dem Milchsaft, welcher in dem Ernährungskanale zur Aufsaugung gekommen ist.

VIERTE VORLESUNG.

Die Atmung.

1. Das Blut, dessen allgemeine Natur und Eigenschaften in der vorhergehenden Vorlesung beschrieben worden sind, ist ein höchst verwickeltes Erzeugnis nicht eines einzigen Organes oder Bestandteiles des Körpers, sondern aller zusammen. Viele seiner Eigentümlichkeiten sind ohne Zweifel durch seine besonderen und wesentlichen Bestandteile, die Blutkörperchen, bedingt; aber die allgemeine Beschaffenheit des Blutes wird aufserordentlich durch den Umstand beeinflusst, dass jeder andere Teil des Körpers etwas aus dem Blute weg- und mancherlei ihm zuführt. Man kann das Blut mit einem Flusse vergleichen, in welchem die Beschaffenheit seiner Bestandteile in hohem Grade bestimmt wird durch seine Quellen und durch die Tiere, welche in ihm schwimmen; welcher aber aufserdem beeinflusst wird durch das Erdreich, über welches er fliefst, die Wasserpflanzen, die seine Ufer bedecken, und durch Zuflüsse aus entfernteren Gegenden, durch Bewässerungswerke, die aus ihm gespeist werden, und Abwässerungsröhren, die in ihn münden.

2. Eine der bemerkenswertesten und wichtigsten Veränderungen im Blute entsteht dadurch, dass es in den meisten Teilen des Körpers durch Haargefäfse fliefst, oder in anderen Worten, durch Gefäfse, deren Wände dünn genug sind, um einen freien Austausch zwischen dem Blute und den Flüssigkeiten, welche die angrenzenden Gewebe durchdringen, zu gestatten. (Vorlesung II, § 1.)

So wird man finden, dass das Blut einer Arterie, welche irgend ein Glied versorgt, eine helle, scharlachrote Farbe hat; während Blut, das zu gleicher Zeit aus einer Vene desselben Gliedes entzogen wird, eine mehr purpurrote Färbung hat und

zugleich so dunkel ist, dass man es zuweilen „schwarzes Blut“ nennt. Und da man diesen Gegensatz im allgemeinen in allen Arterien und Venen findet (ausgenommen die Lungenarterie und Lungenvenen), so nennt man das helle, rote Blut gewöhnlich arterielles und das dunkle Blut venöses.

Diese Umwandlung des arteriellen Blutes in venöses findet in den meisten Teilen des Körpers statt, so lange Leben darin besteht. Wenn man ein Glied abschneidet und vermittelst einer Spritze rotes Blut in seine Arterie leitet, so wird aus den Venen schwarzes Blut ausfliefsen.

3. Wenn man Proben von arteriellem und venösem Blute der chemischen Prüfung unterwirft, so findet man die Unterschiede im Gehalte an festen und flüssigen Bestandteilen sehr gering und schwankend. Aber die gasigen Bestandteile der beiden Blutarten zeigen grofse Unterschiede in dem Verhältnisse zwischen ihrem Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt; im venösen Blute ist weniger Sauerstoffgas und mehr Kohlensäuregas enthalten als im arteriellen.

Auch kann man es experimentell beweisen, dass dieser Unterschied in ihren gasigen Bestandteilen der einzige wesentliche Unterschied zwischen venösem und arteriellem Blute ist. Denn wenn arterielles Blut mit Kohlensäure geschüttelt wird, bis es vollständig mit diesem Gase gesättigt ist, so giebt es Sauerstoff ab, wird reicher an Kohlensäure und nimmt die Farbe und Eigenschaften des venösen Blutes an; während venöses Blut, wenn es auf gleiche Weise mit Sauerstoff behandelt wird, reicher an Sauerstoff wird, Kohlensäure abgiebt, und die Farbe und Eigenschaften des arteriellen Blutes annimmt. Doch ist aus Gründen, welche später erörtert werden, die Veränderung im ersteren Falle schwieriger zu erzielen als im letzteren.

Dasselbe Ergebnis, nur langsamer, wird erlangt, wenn man arterielles oder venöses Blut in eine Blase einschliefst und erstere in Kohlensäure, letztere in Sauerstoffgas legt; die dünne, feuchte tierische Membran erlaubt der Veränderung langsam Platz zu greifen und stellt dem Durchtritte der Gase kein unüberwindliches Hindernis entgegen.

4. Die physikalisch-chemischen Vorgänge, welche der Ersatz der Kohlensäure durch Sauerstoff in sich schliefst, wenn venöses in arterielles Blut verwandelt wird, oder umgekehrt der Ersatz

von Sauerstoff durch Kohlensäure in den vorher erwähnten Fällen, sind sicherlich sehr verwickelt.

Es ist bekannt: *a.* dass Gase, welche in einem gegebenen Verhältnisse in einer Flüssigkeit absorbiert enthalten sind, dahin neigen, sich in irgend einer Atmosphäre, der sie ausgesetzt sind, auszubreiten, bis sie in dieser Atmosphäre in entsprechendem Verhältnisse enthalten sind; und *b.* dass Gase, welche durch eine trockene poröse Scheidewand von einander getrennt oder auch einfach in Berührung mit einander sind, mit einer Schnelligkeit ineinander eindringen und sich mischen, die im umgekehrten Verhältnisse zu den Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeiten steht. Die Kenntnis dieser physikalischen Grundsätze giebt uns eine ungefähre Vorstellung, wie zwischen den im Blute enthaltenen Gasen und denen der Luft ein Austausch stattfindet, mag das Blut denselben offen ausgesetzt oder in einer Haut eingeschlossen sein.

Aber die Anwendung dieser Grundsätze ergiebt nicht mehr als diese oberflächliche Einsicht. Denn erstens wird, wenn der Gasaustausch durch die Wände einer feuchten tierischen Membran hindurch stattfindet, der Vorgang sehr verwickelt durch den Umstand, dass wässerige Flüssigkeiten Kohlensäure in viel gröfserem Mafse aufnehmen als Sauerstoff. Eine feuchte Blase wirkt deshalb auf Kohlensäure ganz anders als auf Sauerstoff; eine mit Sauerstoff schlaff gefüllte Blase, in Kohlensäure aufgehängt, wird schnell sehr ausgedehnt und prall gefüllt, weil die Kohlensäure mit viel gröfserer Geschwindigkeit durch die feuchte Wand nach innen wandert als der Sauerstoff nach aufsen. Zweitens sind die Gase im Blute nicht blofs aufgelöst oder a b s o r b i e r t, sondern zum Teil wenigstens chemisch gebunden, der Sauerstoff an die roten Blutkörperchen (Vorl. III, § 16), ein Teil der Kohlensäure, wie man Gründe hat anzunehmen, an gewisse Salze des Blutserums. Deshalb ist der Vorgang des Gasaustausches in den Lungen, die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlensäure, ein gemischter Vorgang, zum Teil rein physikalischer, zum anderen Teile chemischer Natur, und deshalb ziemlich schwer genau zu erklären.

Ganz dasselbe gilt ebenso von dem entgegengesetzten Gasaustausche, welcher sich in den Gewebskapillaren vollzieht, wo das Blut Sauerstoff verliert und Kohlensäure aufnimmt, und aus arteriellem Blute sich in venöses verwandelt. Wegen der eigen-

tümlichen Beziehung des Sauerstoffes zu den roten Blutkörperchen kann dieser Vorgang nicht als eine reine Diffusion, wie sie bei dem Versuche mit der Schweinsblase stattfindet, angesehen werden. Vielmehr wird die, allerdings lockere Verbindung des Sauerstoffes mit den Blutkörperchen zerlegt und der Sauerstoff zur Oxydation der leicht oxydablen Bestandteile der Gewebe verwandt, während das kohlensäurearme Blut dieses Gas aus den Geweben aufnimmt, wo es in reichem Maſse durch die Oxydationsvorgänge gebildet worden ist.

Venöses Blut unterscheidet sich also von arteriellem nicht nur durch einen gröſseren Gehalt an Kohlensäure, sondern auch dadurch, dass die Blutkörperchen einen Teil ihres Sauerstoffes abgegeben haben oder, wie die Chemiker sagen, reduziert worden sind. Das ist der oben schon angedeutete Grund, warum arterielles Blut nicht so leicht in venöses verwandelt werden kann durch bloſse Berührung mit Kohlensäure wie venöses in arterielles durch Berührung mit Sauerstoff. Denn im ersteren Falle fehlt es an den leicht oxydierbaren Stoffen, welche den roten Blutkörperchen den Sauerstoff entziehen und sie dadurch reduzieren können. Wenn man solche reduzierende Stoffe dem Blute zusetzt (z. B. ein Eisenoxydulsalz), so wird es sehr schnell unmittelbar in venöses verwandelt.

In praktischer Hinsicht ist der wichtigste Unterschied zwischen venösem und arteriellem Blute nicht sowohl in der Menge der in ihnen enthaltenen Kohlensäure zu suchen, sondern vielmehr darin, dass die Blutkörperchen des venösen Blutes einen beträchtlichen Teil ihres Sauerstoffes verloren haben und dadurch in den Stand gesetzt sind, Sauerstoff, wo er ihnen geboten wird, wieder an sich zu reiſsen.

5. Auch die Ursache des Farbenwechsels im Blute — seines Dunkelwerdens, wenn es Kohlensäure ausgesetzt wird, und seines Hellerwerdens unter dem Einflusse von Sauerstoff — ist vorzugsweise dem Wechsel im Sauerstoffgehalt zuzuschreiben. Man hat beobachtet, dass die roten Körperchen durch den Sauerstoff etwas flacher werden, während sie sich unter dem Einflusse von Kohlensäure ausdehnen (Vorl. III, § 4). Unter den ersteren Umständen werfen sie wahrscheinlich das Licht besser zurück, so dass sie dadurch dem Blute eine hellere Färbung verleihen, während sie unter letzteren Umständen weniger Licht reflektieren

und dadurch das Blut dunkler und trüber erscheinen lassen. Das ist jedoch nur eine untergeordnete Ursache des Farbenwechsels: denn Lösungen von Blutfarbstoff oder Blutkrystallen (Vorl. III, § 9), selbst wenn sie ganz frei von Blutkörperchen sind, wechseln die Farbe aus Hellrot in dunklen Purpur, je nachdem sie an Sauerstoff reicher oder ärmer werden. Wir haben schon einmal darauf hingewiesen (Vorl. III, § 16), dass der Sauerstoff im Blute sich sehr wahrscheinlich in einer lockeren chemischen Verbindung mit dem Blutfarbstoffe verbindet. Und ferner kann man ganz deutlich sehen, dass eine Lösung von Blutfarbstoff in dieser lockeren Verbindung mit Sauerstoff eine hellrote Farbe hat, während eine Lösung Blutfarbstoff ohne Sauerstoff eine sehr dunkle, fast schwarze Färbung hat. Daher wird arterielles Blut, in welchem der Blutfarbstoff reichlich mit Sauerstoff versehen ist, natürlich hellrot sein, während venöses Blut, welches nicht nur einen Überschuss an Kohlensäure hat, sondern dessen Blutfarbstoff auch einen grofsen Teil seines Sauerstoffes verloren hat, dunkelpurpurfarben aussehen muss.

6. Nun verbrauchen, wie wir gesehen haben, alle Gewebe fortwährend Sauerstoff. Die Lebensvorgänge in ihnen sind in der That abhängig von einer ununterbrochen fortgehenden Reihe von Oxydationen. Deshalb sind sie sozusagen gierig nach Sauerstoff, während sie gleichzeitig fortwährend Kohlensäure (neben anderen Zersetzungsstoffen) produzieren. Während das Blut durch die Kapillaren fliefst, befindet sich also auf der einen Seite der zarten Kapillarwand das Blut mit seinen sauerstoffreichen roten Körperchen, auf der anderen Seite das Gewebe mit seinem fortwährenden Sauerstoffbedürfnis und seiner stets neuerzeugten reichlichen Kohlensäure. Das hat zur Folge, dass Sauerstoff von den roten Körperchen entweicht und durch die Kapillarwand hindurch zu den Geweben wandert, welche es sofort in Beschlag nehmen, während Kohlensäure aus den Geweben, wo sie im Überfluss vorhanden ist, durch die Kapillarwand hindurch zum Blute wandert, welches zwar auch schon Kohlensäure enthält, aber doch nicht so viel als die Gewebe. Darum kommt das Blut aus den Geweben ärmer an Sauerstoff und reicher an Kohlensäure als es hineinkam; und darauf beruht die Umwandlung des arteriellen in venöses Blut.

Andererseits, wenn wir nach der Erklärung für die Umwand-

lung des dunklen Venenblutes in rotes Blut der Arterien suchen, finden wir erstens, dass das Blut in dem rechten Vorhofe der rechten Herzkammer und in der Lungenarterie dunkel bleibt; zweitens, dafs es hellrot ist nicht nur in der Aorta, sondern auch in der linken Herzkammer, dem linken Vorhofe und in den Lungenvenen.

Es ist also ersichtlich, dass die Umwandlung aus venösem in arterielles Blut in den Haargefäfsen der Lunge stattfindet; denn diese sind die einzigen Verbindungskanäle zwischen den Lungenarterien und den Lungenvenen.

7. Aber welches sind die physikalischen Bedingungen, denen das Blut in den Lungenhaargefäfsen ausgesetzt ist?

Diese Gefäfse sind sehr weit, haben dünne Wände und sitzen dicht beieinander, so dass sie ein Netzwerk mit sehr kleinen Maschen bilden, welches in eine aufserordentlich dünne Haut eingelagert ist. Diese Haut steht mit der atmosphärischen Luft in Berührung, so dass das Blut eines jeden Haargefäfses der Lunge von der Luft nur durch ein sehr dünnes Häutchen, welches aus der Wand des Haargefäfses und der Haut des Lungengewebes gebildet wird, getrennt ist. Daher findet sehr schnell ein Austausch zwischen dem Blute und der Luft statt; die letztere nimmt Wasserdampf und Kohlensäure auf und verliert Sauerstoff (Vorl. I, § 23, 24).*

Dies ist im wesentlichen der Vorgang der Atmung; dass er wirklich stattfindet, kann sehr leicht durch das in der ersten Vorlesung (§ 3) beschriebene Experiment bewiesen werden, wo wir gefunden haben, dass die ausgeatmete Luft sich von der eingeatmeten dadurch unterscheidet, dass erstere mehr Wärme, mehr Wasser, mehr Kohlensäure und weniger Sauerstoff enthält. Wenn wir aber die Luftröhre eines lebenden Tieres zuschnüren, so dass wir dadurch die Luft verhindern, sowohl in die Lungen hinein als aus denselben herauszugehen, und dann den Inhalt des

* Der Leser muss sich hüten zu glauben, dass arterielles Blut keine Kohlensäure enthalte und venöses keinen Sauerstoff. Indem es durch die Lungen geht, verliert das venöse Blut nur einen Teil seiner Kohlensäure, und arterielles Blut verliert bei seinem Durchgange durch die Gewebe nur einen Teil seines Sauerstoffes. Bei gesunden Menschen ist selbst im dunkelsten Venenblute noch immer etwas Sauerstoff, und selbst im hellsten arteriellen Blute ist immer noch mehr Kohlensäure als Sauerstoff enthalten.

Herzens und der grofsen Gefäfse prüfen, so werden wir das Blut in den beiden Seiten des Herzens und in den Lungenvenen und der Aorta gerade so venös vorfinden wie in der Hohlvene und der Lungenarterie.

Aber trotzdem der Übergang von Kohlensäuregas und warmem Wasserdampfe aus dem Blute und von Sauerstoff in dasselbe das Wesen des Atmungsprozesses ausmacht — und also nur eine Haut mit Blut einerseits und Luft andererseits unbedingt notwendig sind, um die Reinigung des Blutes auszuführen — so geschieht doch die Anhäufung von Kohlensäure so schnell und das Bedürfnis für Sauerstoff wird so dringend in allen Teilen des menschlichen Körpers, dass die Kohlensäure nicht mit angemessener Geschwindigkeit weggeschafft, noch der Sauerstoff genügend ersetzt werden könnte ohne die Mitwirkung ausgedehnter und verwickelter Hilfsmittel, deren Anordnung und Thätigkeit wir zunächst sorgfältig prüfen wollen.

8. Der hintere Teil der Mundhöhle oder der Schlundkopf steht durch zwei Röhren mit der äufseren Luft in Verbindung (vgl. Fig. 40 in Vorl. VI). Eine derselben wird von den Nasenhöhlen gebildet, welche nicht durch einen eigenen Muskelapparat geschlossen werden können; die andere ist der Mund, der nach Belieben geschlossen und geöffnet werden kann.

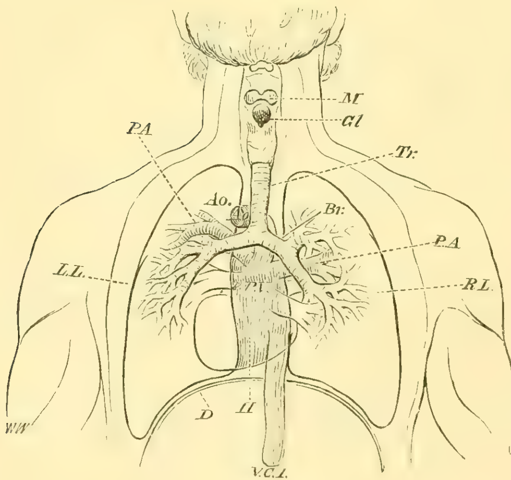


Fig. 19.

Dicht hinter der Zunge an der unteren

Ansicht der Hals- und Brustgegend eines Menschen von hinten nach Wegnahme der Wirbelsäule und der ganzen hinteren Brustwand. *M* Mundhöhle; *Gl* Stimmritze; *Tr* Luftröhre; *LL* Linke Lunge; *RL* Rechte Lunge; *Br* Bronchus; *PA* Lungenarterien; *PV* Lungenvenen; *Ao* Aorta; *D* Zwerchfell; *H* Herz; *VCI* untere Hohlvene.

vorderen Seite des Schlundkopfes ist eine Öffnung, die Stimmritze oder Glottis (Fig. 19, Gl; vgl. auch Fig. 57 und 59 in Vorl. VIII), die geschlossen werden kann durch eine Art Deckel, Kehldeckel oder Epiglottis genannt, oder durch das Zusammenklappen seiner Seitenteile, die von den sogenannten Stimmbändern gebildet werden. Die Stimmritze öffnet sich in einen Raum mit knorpeligen Wänden, den Larynx oder Kehlkopf, und vom Kehlkopfe geht an der Vorderseite des Halses entlang, wo man sie sehr leicht fühlen kann, die Trachea oder Luftröhre (Fig. 19, Tr) nach abwärts.

Wenn man die Luftröhre durch die Haut hindurch betastet, so findet man, dass sie fest ist und Widerstand leistet. Ihre Wände sind in der That durch eine Reihe knorpeliger Ringe verstärkt, welche nach hinten nicht vollkommen geschlossen sind, indem ihre Enden da, wo die Luftröhre mit der Schlundröhre oder dem Oesophagus in Berührung kommt, nur durch Muskel und Haut miteinander verbunden sind. Die Luftröhre dringt in den Brustkasten ein und teilt sich da in zwei Stämme, welche Bronchen genannt werden (Fig. 19, Br). Jeder Bronchus geht an seiner Seite in die Lunge und zerteilt sich dann in eine grofse Zahl kleinerer Zweige. In dem Mafse, als diese an Gröfse abnehmen, werden auch die Knorpel, die sich durch die Bronchen und ihre gröfseren Verzweigungen fortgesetzt haben, immer kleiner und verschwinden zuletzt ganz, so dass die Wände der kleinsten Bronchialröhren vollständig häutig sind. In die häutige Röhrenwand sind Muskelfasern eingelagert. Während daher die Luftröhre und die Bronchen beständig durch ihre Knorpel offen und der Luft zugänglich bleiben, können die kleinen Bronchialröhren durch die Zusammenziehung ihrer Muskeln geschlossen werden.

Die dünnsten Bronchialröhren endigen zuletzt in längliche Erweiterungen, deren Durchmesser im Mittel ungefähr 0,06 mm beträgt (Fig. 20, A). Jede solche Erweiterung ist besetzt mit, oder richtiger gesagt besteht aus einer grofsen Zahl kleiner Säckchen, deren Hohlräume alle mit jener Erweiterung zusammenhängen. Diese Säckchen sind die eigentlichen Luftzellen der Lunge, in welchen der Gasaustausch vor sich geht. Man nennt sie Lungenbläschen oder Alveolen. Ihre sehr dünnen Wände (Fig. 20, B), welche die einzelnen Luftzellen von einander scheiden,

werden gestützt von zartem und sehr elastischem Gewebe und tragen die weiten, dicht aneinander sitzenden Haargefäſse, in welche die letzten Verzweigungen der Lungenarterien ihr Blut ergieſsen (Fig. 20, D). Das in diesen Haargefäſsen enthaltene Blut ist an beiden Seiten der Luft ausgesetzt — indem es von den Luftzellen jederseits nur durch das sehr dünne Häutchen getrennt wird, welches aus der Wand des Haargefäſses und aus der des Luftsäckchens gebildet ist.

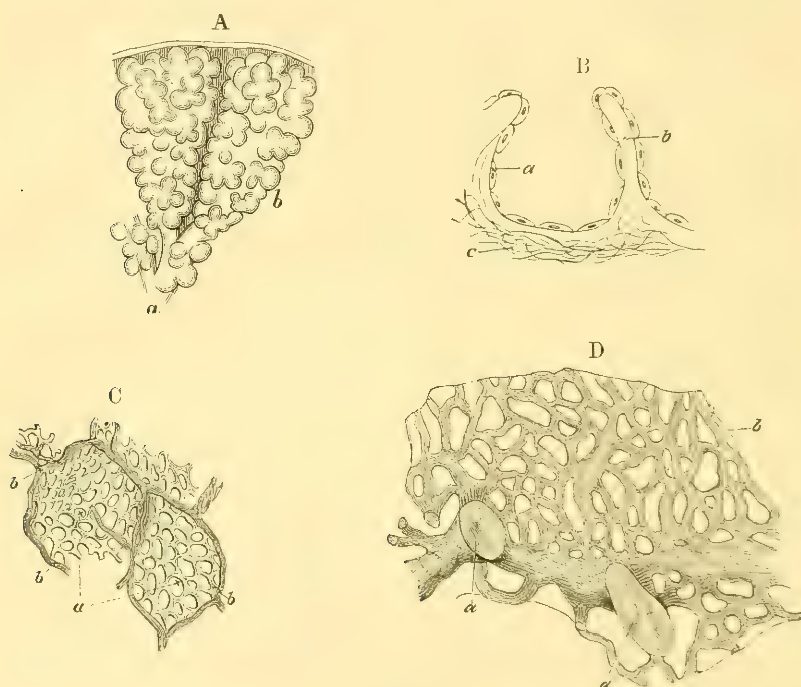


Fig. 20.

A. **Zwei Luftzellen,** *b*, mit den Endverzweigungen der Bronchialröhren *a*, welche in sie münden; zwanzigmal vergröſsert.

B. **Schematische Darstellung einer Luftzelle** (*Alveole*) **im Durchschnitte.** *a* Epithel; *b* Scheidewand zwischen zwei benachbarten Luftzellen, innerhalb welcher die Blutkapillaren liegen; *c* elastische Fasern.

C. **Ein Stückchen Lunge mit injizierten Gefäſsen, schwach vergröſsert.** *a* Die auf der Scheidewand zweier benachbarter Zellen sich ausbreitenden Kapillaren; *b* Zweige kleinster Arterien und Venen.

D. Dasſelbe bei stärkerer Vergröſserung (etwa dreihundertmal) gesehen. *a* Durchschnitte kleiner Arterien und Venen; *b* Reste der Wand der Luftzelle.

9. Wir sehen, dass es keine günstigeren Bedingungen für einen bequemen Austausch zwischen den gasigen Bestandteilen des Blutes und jenem der Luft in den Alveolen geben kann, als die Vorkehrungen, welche in den Lungenhaargefäſsen getroffen sind; und so weit macht es uns der Bau der Lunge vollständig klar, wie die groſse Menge Blut, welche sich in den Lungenkreislauf ergieſst, in sehr dünnen Strömen über eine groſse Oberfläche sich ergieſsend der Luft ausgesetzt wird. Aber die einzige Folge dieser Vorrichtung würde die sein, dass die Luft der Lunge sehr schnell allen ihren Sauerstoff verlieren und vollständig mit Kohlensäure gesättigt würde, wenn nicht eine besondere Vorkehrung getroffen wäre, um sie fortwährend zu erneuern.

10. Wenn man einen erwachsenen Mann beobachtet, der in sitzender Stellung ruhig atmet, so wird man bemerken, dass sich der Atmungsakt vierzehn bis achtzehn mal in der Minute wiederholt. Jeder Akt besteht aus gewissen Teilen, welche einander in regelmäſsiger, rhythmischer Ordnung folgen. Zuerst wird die Luft eingesogen oder e i n g e a t m e t; unmittelbar darauf wird die Luft ausgetrieben oder a u s g e a t m e t; und diesen hintereinander stattfindenden Thätigkeiten der Einatmung und Ausatmung folgt eine kurze Pause. Gerade also wie beim Herzschlage die Vorhofszusammenziehung, die Herzkammerzusammenziehung und dann eine Pause einander in regelmäſsiger Ordnung folgen, so folgen auch an der Brust die Einatmung, die Ausatmung und eine Pause aufeinander. Die Atmungspause ist jedoch in der Regel kurz im Vergleich zur Dauer der Ein- und Ausatmung; ja sie fehlt zuweilen ganz, so dass unmittelbar an das Ende der Ausatmung gleich der Anfang der folgenden Einatmung sich anreiht.

Bei jeder Einatmung eines erwachsenen gut gebauten Mannes werden ungefähr 400—500 ccm Luft eingeatmet, und bei jeder Ausatmung wird dieselbe oder eine etwas geringere Menge ausgeatmet (wobei man jedoch beachten muss, dass dieses Volum gröſser ist, so lange noch die ausgeatmete Luft ihre im Körper angenommene höhere Temperatur und ihren dort aufgenommenen Wasserdampfgehalt hat).

11. Die ausgeatmete Luft unterscheidet sich von der eingeatmeten in folgenden Einzelnheiten:

a. Wie viel auch immer die Temperatur der äuſseren Luft

betragen mag, die ausgeatmete ist fast so warm wie das Blut: ihre Temperatur beträgt zwischen 36° und 38° C.

b. Wie trocken auch die äufsere Luft sein mag, die ausgeatmete ist vollständig oder fast vollständig mit Wasserdampf gesättigt.

c. Während gewöhnliche Luft fast 2100 Teile Sauerstoff, 7900 Stickstoff und nicht mehr als 3 Teile Kohlensäure in 10 000 Raumteilen enthält, so enthält die ausgeatmete Luft ungefähr 470 Teile Kohlensäure und nur zwischen 1500 und 1600 Teile Sauerstoff in 10 000 Teilen, während die Menge des Stickstoffs keine oder nur geringe Veränderung erlitten hat.

In runden Zahlen ausgedrückt hat also einmal geatmete Luft fünf Prozent Kohlensäure gewonnen und fünf Prozent Sauerstoff verloren. Die ausgeatmete Luft enthält aufserdem noch eine wechselnde aber immer sehr geringe Menge tierischer Substanz von sehr leicht zersetzbarer Beschaffenheit.

d. Sehr genaue Untersuchung der ausgeatmeten Luft zeigt, dass die Menge Sauerstoff, welche vom Körper aufgenommen worden ist, immer etwas gröfser ist, als die Menge Kohlensäure, welche von demselben ausgeschieden wurde. Dies rührt davon her, dass nicht aller aufgenommene Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure verwendet worden ist, sondern dass ein Teil desselben sich auch mit Wasserstoff zu Wasser und auch mit anderen Elementen verbunden hat. Ferner weist der Stickstoff geringe Schwankungen auf; der ausgeatmete Stickstoff beträgt manchmal etwas mehr, manchmal weniger und manchmal ebensoviel wie der eingeatmete.

12. Etwa 10 bis 11 cbm Luft gehen auf diese Weise im Laufe von vierundzwanzig Stunden durch die Lungen eines erwachsenen Mannes, der sich nur wenig oder keine Bewegung macht; und dieser wird Kohlensäure zugefügt und Sauerstoff entnommen im Betrage von fast fünf Prozent.

Die Gesamtmenge des so eingenommenen Sauerstoffes oder der ausgeatmeten Kohlensäure beläuft sich auf etwas mehr als $^1/_2$ cbm = 500 Liter. Wenn daher ein Mann in einen geschlossenen Raum eingesperrt würde, der die Form eines Würfels von 2,2 m Seite hätte, so würde binnen vierundzwanzig Stunden jedes Teilchen der Luft durch seine Lungen gegangen und ein Viertel des in dem Raume enthaltenen Sauerstoffes durch Kohlensäure ersetzt sein.

Die Menge von Kohle, die in vierundzwanzig Stunden ausgeschieden wird, kann man sehr anschaulich darstellen durch ein Stück reiner Holzkohle von 280 grm Gewicht.

Die Menge von Wasser, die binnen vierundzwanzig Stunden von den Lungen abgegeben wird, wechselt sehr, aber man kann sie im Mittel auf $^1/_3$ Liter oder 300 grm angeben. Sie fällt manchmal unter diesen Betrag, in anderen Fällen aber erreicht sie das doppelte oder dreifache dieser Zahl.

13. Die mechanischen Vorrichtungen, durch welche die Atembewegungen bewerkstelligt werden, die so wichtig sind für die Fortschaffung der grofsen Masse abgenutzter Stoffe und die Einführung einer grofsen Menge Sauerstoff, sind folgende: *a.* die Ausdehnbarkeit der Lungen, *b.* die Beweglichkeit der Seiten und des Bodens der Brusthöhle, in welcher die Lungen liegen.

Die Brust kann man als eine vollständig geschlossene kegelförmige Büchse ansehen, deren schmales Ende nach oben gekehrt ist, deren hintere Seite von der Wirbelsäule, deren Seiten von den Rippen, deren Vorderseite vom Brustbeine, deren Boden vom Zwerchfelle, und deren Spitze von der Nackenwurzel gebildet werden (Fig. 19).

Die beiden Lungen füllen fast die ganze Höhlung dieser Büchse aus, soweit sie nicht durch das Herz eingenommen wird. Jede ist in einer serösen Haut eingeschlossen, das Brustfell oder die Pleura genannt. Dieser Pleurasack hat grofse Ähnlichkeit mit dem Herzbeutel (Vorl. II, § 8), bildet wie dieser einen Doppelsack, unterscheidet sich jedoch dadurch, dass das äufsere Blatt des Pleurasackes fast in seiner ganzen Ausdehnung an den Wänden der Brust und dem Zwerchfelle fest angeheftet ist, während das äufsere Blatt des Herzbeutels fast ganz frei zwischen den Lungen liegt. Das innere Blatt des Brustfelles überzieht die Oberfläche der Lunge, das äufsere Blatt überzieht die Innenseite der Brusthöhle, und so bildet das Brustfell rechts und links je eine geschlossene Höhle, in welcher die betreffende Lunge liegt, während der zwischen ihnen gelegene Raum das Herz, die grofsen Gefäfse, die Luftröhre mit den Bronchen u. s. w. enthält. So lange die Wände des Brustkastens geschlossen sind, ist die Höhlung eines jeden Brustfelles vollständig ausgefüllt, indem die Schicht des Brustfelles, welche die Lunge bedeckt, in enger Berührung mit jener steht, welche die innere Fläche der Brustwand

bekleidet; aber wenn eine kleine Öffnung in das Brustfell gemacht wird, schrumpft die Lunge plötzlich zu einem verhältnismäſsig kleinen Volum zusammen, und dadurch entsteht dann ein groſser Hohlraum zwischen den beiden Schichten des Brustfelles. Wenn dann ein Rohr in den betreffenden Bronchus gesteckt und Luft eingeblasen wird, so dehnt sich die Lunge leicht wieder zu ihrer vollen Gröſse aus; aber wenn man sie sich selbst überlässt, fällt sie wieder zusammen, indem die Luft mit einer gewissen Kraft aus ihr wieder herausgetrieben wird. Die auſserordentlich elastischen Gewebe der Wände der Luftzellen sind nämlich so angeordnet, dass sie sehr über ihre natürliche Gröſse ausgedehnt sind, wenn die Lungen mit Luft gefüllt sind; und wenn die Ursache der Ausdehnung beseitigt ist, kommt diese Elastizität ins Spiel und treibt den gröſsten Teil der Luft wieder heraus.

Die Lungen werden in der Leiche, so lange die Brustwände unversehrt sind, ausgedehnt gehalten durch den Druck der atmosphärischen Luft. Denn obgleich das elastische Gewebe fortwährend an dem Blatte des Brustfelles, welches die Lungen bekleidet, zieht und es von dem anderen Blatte, welches die Brustwand auskleidet, abzuziehen strebt, so könnte es doch eine

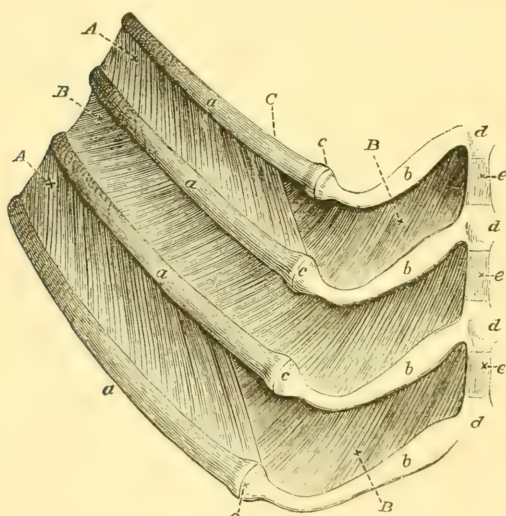


Fig. 21.

Vier Rippen eines Hundes mit den Zwischenrippenmuskeln. *a* knöcherne Rippe; *b* Rippenknorpel; *c* Verbindungstelle zwischen knöcherner Rippe und Rippenknorpel; *d* nicht verknöcherte, *e* verknöcherte Teile des Brustbeines; *A* äuſsere Zwischenrippenmuskeln; *B* innere Zwischenrippenmuskeln. Im mittleren Zwischenraume ist der äuſsere Muskel entfernt worden, um den darunter liegenden inneren Muskel in seiner ganzen Ausdehnung zu zeigen.

solche Trennung nicht bewirken, ohne zwischen beiden Blättern einen luftleeren Raum zu erzeugen. Um dies zu thun, müsste das elastische Gewebe mit einer Kraft ziehen, welche gröfser wäre als dem Druck der äufseren Luft (ein Kilogramm auf den Quadratcentimeter) entspricht. So grofs ist aber die elastische Kraft des Lungengewebes bei weitem nicht, denn sie beträgt nur etwa 6 grm auf den Quadratcentimeter. Aber in dem Augenblicke, wo ein Loch in das Brustfell gemacht wird, erlangt der Luftdruck auf der äufseren Fläche der Lunge das Gleichgewicht mit dem auf der inneren Fläche, und das elastische Gewebe, von seiner Gegenwirkung befreit, übt seine volle Zugkraft auf die Lungen aus; diese ziehen sich zusammen und treiben die Luft aus.

14. Die Lungen sind elastisch, ob lebend oder tot. Während des Lebens kann die Luft, welche sie enthalten, noch aufserdem durch die Muskeln in den Wandungen der Bronchien beeinflusst werden.

Wenn Wasser in die Lungen eines eben getöteten Tieres gegossen und dann eine Reihe elektrischer Schläge durch die Bronchien geleitet wird, so ziehen sich die in ihnen gelegenen Muskeln etwas zusammen und Wasser wird herausgedrängt. Ferner ist während des Lebens eine weitere Quelle der Bewegung in den Bronchialröhren durch die Wimpern gegeben, (vgl. Vorl. VII, § 3), die an dem Epithelium der Röhren befestigt sind, ununterbrochen vorwärts und rückwärts schwingen und durch die Art ihrer Thätigkeit Flüssigkeiten oder feste Massen nach aufsen oder gegen die Luftröhre hin schieben. Auf die Luft, welche in den Lungen enthalten ist, haben jedoch die Wimperzellen keine Wirkung. Und auch die Muskeln der Bronchien spielen sicher eine untergeordnete Rolle bei der Einsaugung und Austreibung der Atmungsluft, dienen vielmehr wohl zu besonderen, noch unbekannten Zwecken. Die eigentliche Bewegung der Luft wird ausschliefslich durch Muskeln bewirkt, welche auf die Wandungen des Thorax einwirken.

15. Die Rippen sind derart am Rückgrat befestigt, dass sie sich frei an demselben bewegen können; aber wenn sie sich selbst überlassen sind, nehmen sie eine Lage ein, die schräg nach unten und vorn geneigt ist.* Zwei Schichten Muskeln, die

* Ich vernachlässige absichtlich die Betrachtung der Rippenknorpel und einige andere Punkte, um die Frage nicht unnütz zu verwickeln. Doch mag

Zwischenrippenmuskeln oder Intercostalmuskeln genannt, liegen zwischen je zwei Rippenpaaren auf jeder Seite (vgl. Fig. 21). Die äufsere Schicht, die äufseren Zwischenrippenmuskeln (Fig 21, A) genannt, laufen von einer oberen Rippe schräg nach unten und vorn zu der nächst unteren Rippe. Die andere Schicht, innere Zwischenrippenmuskeln (Fig. 21, B) genannt, kreuzt jene in der Richtung, indem sie von einer oberen Rippe nach unten und rückwärts zu der nächst unteren verlaufen.

Die Thätigkeit dieser Muskeln erscheint zuerst etwas verwickelt, aber sie wird leicht verständlich werden, wenn man sich die Thatsache vorstellt, dass, wenn sich ein Muskel zusammenzieht, er darnach strebt, den Abstand zwischen seinen beiden Endpunkten so kurz als möglich zu machen. Man stelle sich unter *a* und *b* in Fig. 22 *A* zwei parallele Stäbe vor, die an ihren Enden an dem aufrecht stehenden Stabe *c*, welchen man sich als die Rückenseite des Apparates denken muss, beweglich sind, dann wird eine Linie zwischen *x* und *y* nach unten und vorwärts geneigt sein, und eine Linie zwischen *w* und *z* wird nach unten und rückwärts gerichtet sein.

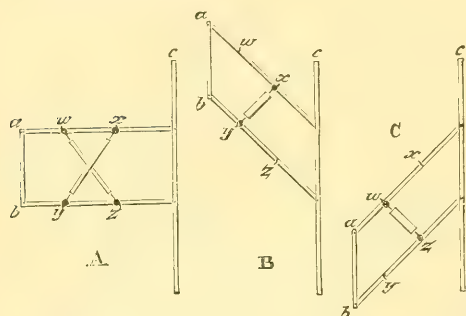


Fig. 22.

Schematische Darstellung der Wirkung der äufseren und inneren Zwischenrippenmuskeln. *A* Mittelstellung; *B* Einatmungserhebung; *C* Ausatmungssenkung.

Nun ist es klar, dass es nur eine Lage der Stäbe giebt, in welcher die Punkte *x* und *y* in ihrer möglichst kürzesten Entfernung von einander liegen, und nur eine Lage, in welcher die Punkte *w* und *z* in ihrer kürzesten Entfernung von einander sind; und diese ist für *x* und *y* die Lage *B*, und für *w* und *z* die Lage *C*. Diese Stellungen sind beziehlich so, dass die Punkte

---

soviel bemerkt sein, dass der Teil der inneren Zwischenrippenmuskeln, welcher zwischen den Knorpeln liegt, wahrscheinlich gleich den äufseren Zwischenrippenmuskeln zum Heben der Rippen beitragen kann.

x, y und w, z sich an den Enden gerader Linien befinden, die senkrecht zu der Richtung der beiden Stäbe sind.

Also, um x und y in diese Lage zu bringen, müssen sich die parallelen Stäbe in *A* nach oben bewegen; und um w und z in diese Lage zu versetzen, müssen sie sich nach der entgegengesetzten Seite bewegen.

Wenn dieser einfache, soeben beschriebene Apparat aus Holz verfertigt wird, und an den Punkten x, y und w, z Haken angebracht werden; wenn ferner ein elastisches Band, das im nicht ausgezogenen Zustande die kürzeste Entfernung zwischen diesen Punkten angiebt, mit Ösen versehen wird, welche leicht in diese Haken eingehängt werden können, so wird man finden, dass wenn die Stäbe in der wagerechten Lage, *A*, sind, dann die Elasticität des Bandes, wenn es an x und y eingehängt wird, die Stäbe in die Lage *B*, Fig. 22, versetzt, während es sie in die Stellung *C*, überführt, sobald es an die Haken w und z eingehängt wird.

Setzt man statt der Elasticität des Bandes die Fähigkeit der äufseren und inneren Zwischenmuskeln, sich zusammenzuziehen, so wird durch jenen Apparat die Art ihrer Thätigkeit genau dargestellt sein; und es ist auf diese Art anschaulich gemacht, dass die äufseren Zwischenrippenmuskeln die knöchernen Teile der Rippen heben, und die inneren Zwischenrippenmuskeln dieselben senken können.

Ein solches Modell entspricht freilich nicht ganz den Verhältnissen am Thorax, welche wegen der Krümmung und eigenartigen Befestigung der Rippen viel verwickelter sind. Daher erklärt es sich, dass zwar allgemein die äufseren Intercostalmuskeln als Rippenheber anerkannt werden, dass aber über die Rolle der inneren Intercostalmuskeln keine allgemeine Übereinstimmung besteht.

Nun wird man aus der Vergleichung der Fig. 22 *C* mit Fig. 22 *A* leicht erkennen, dass wenn die Rippen aus ihrer natürlichen, nach vorn geneigten Stellung etwas erhoben werden, damit zugleich ihre vorderen Enden, und also auch das mit ihnen verbundene Brustbein nach vorn geschoben oder von der Wirbelsäule entfernt werden muss. Weil aber die Rippen gekrümmt sind, so findet auch noch eine Auswärtsbewegung statt, d. h. die seitlichen Teile der Rippen rücken während der Hebung etwas

nach aufsen.* Gerade das Gegenteil muss aber natürlich bei einer Senkung der Rippen erfolgen, d. h. das Brustbein wird sich dabei der Wirbelsäule nähern, und die seitlichen Teile der Rippen werden mehr nach innen rücken. Daraus folgt aber offenbar der Satz: Bei jeder Hebung der Rippen wird der Brustkasten erweitert, bei jeder Senkung der Rippen wird der Brustkasten verengert.

16. Nach unten hin wird der Brustkasten durch das Zwerchfell abgeschlossen, welches eine grofse Scheidewand zwischen dem Brustkasten und der Bauchhöhle bildet. Da es dünn und sehr dehnbar ist, so wird es durch die Elastizität der Lungen so nach oben in den Thorax hineingezogen, dass es, einer gewölbten Kuppel gleich, seine hohle Seite nach unten, seine gewölbte nach oben wendet (vgl. Fig. 1, D).

Von seiner Mitte, die sehnig ist, erstrecken sich Muskelfasern nach unten und aufsen zu den Rippen, und zwei besonders starke Massen, welche die Pfeiler

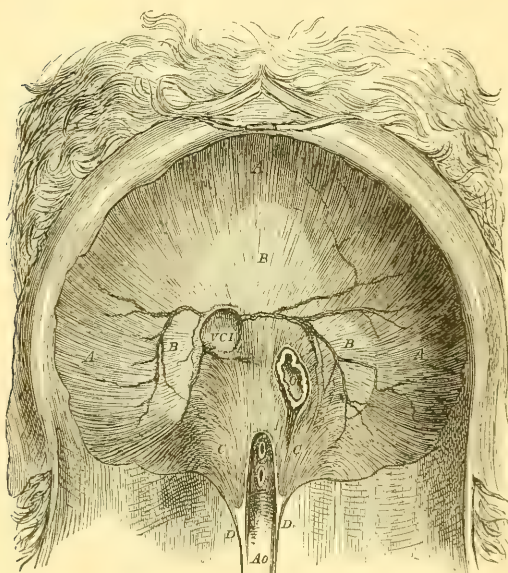


Fig. 23.

Das Zwerchfell eines Hundes, von der unteren oder Bauchseite her gesehen. *VCI* Untere Hohlvene; *O* Schlundröhre; *Ao* Aorta; alle durchgeschnitten, da wo sie durch das Zwerchfell durchtreten. Die grofse, weifse, sehnige Ausbreitung in der Mitte dieses Organes hebt sich deutlich ab von den strahlenförmig angeordneten Muskelfasern, welche zu den Rippen (*A*) und als Pfeiler (*CD*) zu der vorderen Seite der Wirbelsäule hinunterziehen.

* Diese Wirkung lässt sich durch Zeichnungen allein nicht anschaulich machen; wenn aber der Leser einen Draht in der Weise biegt, wie dies bei den Rippen der Fall ist, so kann er sich leicht durch einen Versuch von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen.

des Zwerchfelles genannt werden, gehen zur Wirbelsäule (Fig. 23). Wenn sich diese Muskelfasern zusammenziehen, so platten sie die Wölbung des Zwerchfells ab und vergröſsern dadurch den Rauminhalt des Brustkastens auf Kosten des Bauches, indem sie den Boden des Brustkastens weiter nach unten verlegen (vergl. Fig. 24 A).

17. Wir wollen jetzt sehen, was für Folgen die Thätigkeit der eben beschriebenen Teile des Respirationsapparates haben muss, und zwar wollen wir zuerst nur ins Auge fassen, was geschehen muss, wenn das Zwerchfell allein sich in regelmäſsigen Zwischenräumen zusammenzieht.

Wenn es sich zusammenzieht, vergröſsert es die lotrechten Ausdehnungen der Brusthöhle und strebt den Brustfellüberzug des Bodens des Brustkastens von jenem, welcher die untere Fläche der Lunge bekleidet, wegzuziehen. Aber die Luft, die sogleich durch die Luftröhre hereindringt, veranlasst in demselben Maſse eine Ausdehnung der Lunge und verhindert die Bildung irgend eines leeren Raumes zwischen den beiden Brustfellplatten an dieser Stelle. Wenn das Zwerchfell aufhört, sich zusammenzuziehen, so kommt der Anteil der Lungenelasticität, welchem die Zusammenziehung des Zwerchfelles das Gleichgewicht hielt, wieder ins Spiel, und der Überschuss an Luft, welcher vorher eingeführt war, wird wieder herausgetrieben. Wir haben so, kurz gesagt, eine Einatmung und eine Ausatmung.

Nehmen wir andererseits an, dass das Zwerchfell sich ruhig verhielte und die äuſseren Zwischenrippenmuskeln sich zusammenzögen. Die Rippen werden aus ihrer schrägen Lage hinaufgehoben, die Brusthöhle wird in der Richtung von rechts nach links und von vorne nach hinten breiter und tiefer, und die Lungen werden wie vorher ausgedehnt, um der Erweiterung das Gleichgewicht zu halten. Wenn nun die äuſseren Zwischenrippenmuskeln erschlaffen, so wird die Wirkung der Schwere auf die Rippen und die Elasticität der Lungen allein genügen, um die Rippen in ihre ursprüngliche Lage zurückzubringen, und den Überschuss der eingenommenen Luft herauszutreiben; aber diese Ausatmungsthätigkeit kann noch unterstützt werden durch die Zusammenziehung der inneren Zwischenrippenmuskeln.

18. Daraus erhellt, dass wir entweder eine Zwerchfellatmung oder eine Rippenatmung haben können. Nach einer

allgemeinen Regel jedoch fallen nicht nur die beiden Arten der Atmung zeitlich zusammen und unterstützen einander — indem die Zusammenziehung des Zwerchfelles in derselben Zeit stattfindet, wie jene der äufseren Zwischenrippenmuskeln, und seine Erschlaffung in derselben Zeit wie die Zusammenziehung der inneren Zwischenrippenmuskeln — sondern auch noch verschiedene andere Muskeln können in derselben Richtung mitwirken. So können die Muskeln, welche die Rippen mit oberhalb gelegenen Teilen der Wirbelsäule und mit der Schulter verbinden, da sie die Rippen zu heben im stande sind, mehr oder weniger die Einatmung unterstützen, während jene, welche die Rippen und das Brustbein mit dem Becken verbinden und die Vorder- und Seitenwände des Bauches bilden, sehr wichtige Hilfsmittel der Ausatmung sind. In der That unterstützen sie die Ausatmung auf zweierlei Weise: erstens unmittelbar dadurch, dass sie die Rippen niederziehen; und zweitens mittelbar, indem sie die Eingeweide des Bauches nach oben gegen die untere Fläche des Zwerchfelles drängen und so den Boden des Brustkastens in die Höhe treiben.

Daher kommt es, dass wenn eine heftige Ausatmungsanstrengung gemacht wird, die Wände des Bauches sichtlich abgeflacht und gegen die Wirbelsäule gedrängt werden, während der Körper zu gleicher Zeit nach vorne gebeugt wird.

Wenn man andererseits eine tiefe Einatmung macht, werden die Wände des Bauches vorgewölbt, indem die Eingeweide durch das Niedersteigen des Zwerchfelles gegen sie gedrängt werden; zugleich wird die Wirbelsäule gestreckt, der Kopf wird nach hinten gebogen, und die Schultern werden nach aufsen gestreckt, um den gröfsten mechanischen Vorteil für alle Muskeln, welche die Rippen heben können, zu erlangen (vgl. Fig. 24).

19. Es ist ein bemerkenswerter Umstand, dass der Mechanismus der Atmung in den beiden Geschlechtern etwas verschieden ist. Bei den Männern hat das Zwerchfell einen gröfseren Anteil an dem Vorgange, indem die oberen Rippen sich verhältnismäfsig wenig bewegen; bei Frauen ist das Gegenteil der Fall, die Atmung kommt bei ihnen mehr durch die Rippenbewegung zu stande.

S e u f z e n ist eine tiefe und verlängerte Einatmung. S c h n ü f f e l n ist ein beschleunigter Einatmungsakt, bei welchem der Mund

geschlossen bleibt, und die Luft gezwungen wird, durch die Nase zu streichen.

Husten ist ein heftiger Ausatmungsakt. Nachdem zuerst eine tiefe Einatmung gemacht worden ist, wird die Stimmritze geschlossen und sodann gewaltsam geöffnet durch die starke Zusammenpressung der in den Lungen enthaltenen Luft mittelst der Zusammenziehung der Ausatmungsmuskeln, während das Zwerchfell erschlafft ist; und so wird die Luft durch den Mund ausgetrieben. Beim Niesen hingegen ist die Mundhöhle abgeschlossen von dem Schlunde durch Aneinanderlagerung des Gaumensegels und des Zungengrundes, und so wird die Luft gezwungen, durch die Nasengänge zu entweichen.

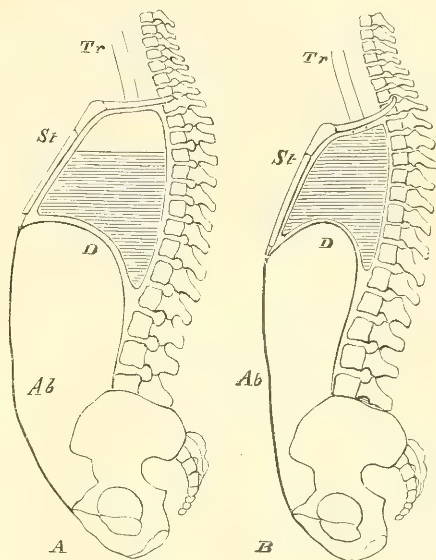


Fig. 24.

Schematische Durchschnitte durch den Körper. *A* In Einatmungsstellung. *B* In Ausatmungsstellung. *Tr* Luftröhre; *St* Brustbein; *D* Zwerchfell; *Ab* Bauchwände. Die Schattierung deutet die rückständige Luft an.

20. Aus dem oben Gesagten erhellt, dass der Brustkasten, die Lungen und die Luftröhre eine Art Blasebalg ohne Klappe darstellen, in welchem Brustkasten und Lungen der Rumpf des Blasebalges sind, während die Luftröhre das Windrohr vorstellt; und die Wirkung der Atmungsbewegungen ist ganz dieselbe wie jene der Erweiterung und Verengerung des Blasebalges, welche Luft durch das Windrohr einziehen und austreiben.

Es ist jedoch ein Unterschied zwischen dem Blasebalge und dem Atmungsapparate von grofser Wichtigkeit für die Theorie der Atmung, obgleich er oft übersehen wird; und dieser Unterschied besteht darin, dass die Seiten des Blasebalges dicht zu-

sammengebracht werden können, so dass sie alle oder fast alle Luft, welche in ihm enthalten ist, herauspressen; während die Wände der Brust, wenn sie so weit wie irgend möglich einander genähert werden, immer noch einen beträchtlichen Hohlraum einschliefsen (Fig. 24 B), so dass selbst nach der heftigsten Ausatmungsanstrengung noch eine grofse Menge Luft in den Lungen zurückbleibt.

Die Menge dieser Luft, welche nicht ausgeatmet werden kann und welche rückständige Luft genannt wird, beträgt ungefähr 1200—1600 ccm.

Ungefähr ebensoviel bleibt noch aufser dieser in der Brust nach einer gewöhnlichen Ausatmung zurück, und diese Luftmenge wird Ergänzungsluft genannt.

Beim gewöhnlichen Atmen gehen etwa 400—500 ccm Luft ein und aus, welche man schlechtweg Atmungsluft zu nennen pflegt. Es folgt daraus, dass nach einer gewöhnlichen Einatmung höchstens etwa $1600 + 1600 + 500 = 3700$ ccm Luft in den Lungen enthalten sind. Wenn man jedoch die möglichst tiefste Einatmung macht, kommen noch weitere 1600 ccm hinzu, welche Hilfsluft genannt werden.

21. Es folgt aus diesen Angaben, dafs die Lungen nach einer gewöhnlichen Einatmung ungefähr 3700 ccm Luft enthalten, und dass nur ungefähr ein Achtel bis ein Siebentel dieses Betrages ausgeatmet und bei der nächsten Einatmung wieder eingeatmet wird. Aufser dem Umstande also, dass die frisch eingeatmete Luft die Höhlungen des hinteren Teiles des Mundes, die Luftröhre und die Bronchen füllen muss, so würde, wenn die Lungen nur Säcke wären, die an den Enden der Bronchen angebracht sind, die eingeatmete Luft nur so weit hinabgehen, um ein Vierzehntel bis ein Sechzehntel jedes Sackes, der den Bronchen am nächsten ist, zu füllen, von wo sie bei der nächsten Ausatmung wieder ausgetrieben würde. Aber da sich die Bronchen in eine grofse Anzahl Bronchialröhren verzweigen, kann die eingeatmete Luft nur bis zu einer gewissen Entfernung in dieselben eindringen und kann nie die Luftzellen selbst erreichen.

Also bleiben die rückständige und Ergänzungs-Luft zusammen unter gewöhnlichen Umständen ruhig in den Lungen und bilden daher die sogenannte ständige Luft — das heifst,

die Luft, die unter diesem Namen verstanden wird, verschiebt nur ihre äufsere Grenze in den Bronchialröhren, wenn sich die Brust ausdehnt und zusammenzieht, ohne die Lungen zu verlassen; ein anderer Teil von Luft aber, die Atmungsluft, verläfst allein die Lungen und wird bei der gewöhnlichen Atmung fortwährend erneuert.

Es ist daher ersichtlich, dass die Thätigkeit der Atmung hauptsächlich von der ständigen Luft ausgeführt wird, welche die Rolle eines Vermittlers zwischen den beiden Parteien — dem Blute und der frischen Atmungsluft — spielt, da beide darnach streben, ihren Überschuss mit einander auszutauschen, Kohlensäure gegen Sauerstoff, und Sauerstoff gegen Kohlensäure.

Zwischen der frischen Atmungsluft und der ständigen Luft liegt nichts weiter; es sind beide luftförmige Flüssigkeiten in vollkommener Berührung und ununterbrochenem Zusammenhange, und daher muss der Austausch zwischen ihnen nach den allgemeinen Gesetzen der Gasmischung oder Gasdiffusion stattfinden. Wahrscheinlich aber findet auch noch wegen der Geschwindigkeit der Strömung eine teilweise Mischung beider Luftmengen statt, was dem Gesaustausch sehr zu statten kommen muss.

22. Es ist also die ständige Luft, welche in den Luftzellen an das Blut Sauerstoff abgiebt und Kohlensäure von ihm aufnimmt. Durch diesen Vorgang wird die ständige Luft mit Kohlensäure beladen und erleidet einen Verlust an Sauerstoff. Die Zusammensetzung dieser ständigen Luft ist nicht genau bekannt. Jedenfalls muss sie viel reicher an Kohlensäure und viel ärmer an Sauerstoff sein als die ausgeatmete Luft, da diese während der kurzen Zeit ihres Verweilens in der Lunge (4—5 Sekunden) nicht vollkommen die Zusammensetzung der ständigen Luft angenommen haben kann.

In Übereinstimmung mit diesen Thatsachen hat man gefunden, dass die ausgeatmete Luft in der ersten Hälfte einer Ausatmung weniger Kohlensäure enthält, als die ausgeatmete Luft der zweiten Hälfte. Ferner, wenn die Zahl der Atmungen vergröfsert wird, ohne dass man die Tiefe einer jeden Einatmung verändert, so wird freilich der Prozentsatz der Kohlensäure bei jeder Ausatmung vermindert, aber nicht in demselben Verhältnisse vermindert, als die Zahl der Einatmungen zunimmt; und

folglich wird dabei mehr Kohlensäure in einer gegebenen Zeit vom Körper abgegeben.

Also, wenn die Zahl der Einatmungen in der Minute von fünfzehn auf dreifsig erhöht wird, so ist der Prozentsatz der im zweiten Falle ausgeatmeten Kohlensäuse gröfser als die Hälfte von dem im ersten Falle, und folglich ist die gesamte Kohlensäureabgabe gröfser.

23. Von den verschiedenen mechanischen Hilfsmitteln des Atmungsprozesses, dessen Natur und Thätigkeit wir jetzt beschrieben haben, ist eins, die Elasticität der Lungen, von Natur eine tote, unveränderliche Kraft. Die Thätigkeit des übrigen Apparates ist unter die Oberaufsicht des Nervensystemes gestellt und bleibt nicht fortwährend gleich.

Da die Nasengänge nicht durch ihre eigene Thätigkeit geschlossen werden können, so hat die Luft immer freien Zutritt zum Schlundkopfe; aber die Stimmritze oder der Eingang zur Luftröhre steht vollkommen unter der Herrschaft des Nervensystemes — der geringste Reiz auf der Schleimhaut in ihrer Nachbarschaft wird durch ihre Nerven jenem Teile des Centralnervensystems mitgeteilt, welcher verlängertes Mark genannt wird (vgl. Vorl. XI, § 16). Das verlängerte Mark, derartig gereizt, verursacht durch einen Vorgang, der später erklärt werden soll, Reflexthätigkeit genannt, eine Zusammenziehung der Muskeln, welche die Stimmritze schliefsen, und gewöhnlich zu gleicher Zeit eine heftige Zusammenziehung der Ausatmungsmuskeln, und erzeugt so einen Hustenstofs (vgl. § 19).

Auch die Muskelfasern der kleineren Bronchialröhren stehen unter dem Einfluss des Centralnervensystems und können erweitert und verengt werden, was auf die Luftbewegung von Einfluss sein muss. Aber abgesehen von diesen gelegentlichen Einwirkungen steht der ganze Atemmechanismus in solcher Abhängigkeit vom Nervensystem, dass seine Leistungen innerhalb weiter Grenzen schwanken und dem jeweiligen Atembedürfnis angepasst werden können.

24. Aus dem, was bisher gesagt wurde, ist ersichtlich, dass viele Ähnlichkeiten zwischen dem Kreislaufe und dem Atmungsapparate vorhanden sind. Jeder besteht hauptsächlich aus einer Art Pumpe, welche eine Flüssigkeit (luftförmig im einen und tropfbarflüssig im anderen Falle) durch eine Menge verzweigter

Verteilungsröhren entsendet zu einem Systeme von Höhlungen (Haargefäfse bezw. Alveolen), deren Rauminhalt gröfser ist, als jener der Röhren. Das Herz wirkt wesentlich als Druckpumpe, der Atemapparat abwechselnd als Druck- und Saugpumpe.

In beiden ist die Pumpe die Ursache der Bewegung der Flüssigkeit; die Zusammenziehung oder Erschlaffung der Muskelfasern, welche in den Wänden der Verteilungsröhren enthalten sind, kann nur regulierend auf die Bewegung einwirken. Aber während die rhythmische Bewegung des Herzens hauptsächlich von einem Nervenapparate, welcher innerhalb desselben angebracht ist, abhängt, erfolgt die Bewegung des Atmungsapparates allein durch die Thätigkeit eines Nervencentrums, welches im verlängerten Marke liegt, des sogenannten Atmungscentrums.

Von diesem Centrum aus gelangt die Erregung durch verschiedene Nervenbahnen zu den einzelnen Atemmuskeln. Die Zwischenrippenmuskeln werden versorgt von den Intercostalnerven, welche aus dem Brustteil des Rückenmarks entspringen, und die Muskelfasern des Zwerchfells werden von zwei Nerven, auf jeder Seite einer, versorgt, den Zwerchfellsnerven (Nn. phrenici), welche aus Rückenmarksnerven des Halsgeflechts entspringen, an der Nackenwurzel in den Thorax eindringen und in diesem an den Lungen entlang bis zum Zwerchfell hinunterziehen, in welchem sie sich dann ausbreiten. Von dem erwähnten Atemcentrum im verlängerten Mark gehen in regelmäfsigen Zeiträumen wiederholte Erregungen aus, und ziehen durch den oberen Teil des Rückenmarks zu jenen Nerven und zu den genannten Muskeln. Infolge dessen ziehen diese sich zusammen und das bewirkt eine Inspiration. Hierauf lässt der Reiz nach, während andere Reize, die zwar in demselben Centrum entstehen, aber durch andere Nervenbahnen geleitet werden, zu exspiratorischen Muskeln gelangen und demgemäfs eine Exspiration oder Ausatmung bewirken. In der Regel sind die inspiratorischen Reize bedeutend stärker als die exspiratorischen. Bei der gewöhnlichen ruhigen Atmung erfolgt die Ausatmung in der That fast ganz allein durch die elastischen Kräfte der Lunge und der Brustwandungen. Dazu bedarf es keiner Nerventhätigkeit; sobald der Inspirationsreiz nachlässt, hört die Zusammenziehung des Zwerchfells und der Intercostalmuskeln auf, und die Exspiration greift von selbst Platz. Aber bei verstärkter Atmung können sehr

starke exspiratorische Reize von der Medulla oblongata ausgehen und durch starke Zusammenziehung exspiratorischer Muskeln zum Austreiben der Luft aus den Lungen beitragen.

Diese Erregungen, die inspiratorischen sowohl als die exspiratorischen, entstehen in dem Atemcentrum der Medulla oblongata auf eigentümliche Weise. Es scheint, dass sowohl die Häufigkeit wie die Stärke der einzelnen Erregungen von der Beschaffenheit des Bluts, welches durch die Capillaren der Medulla fliefst, abhängen. Wenn dieses Blut venöser wird, d. h. ärmer an Sauerstoff, dann werden die Erregungen stärker; wenn es weniger venös ist, werden sie schwächer. Aber auch Erregungen, welche von den Lungen durch die pneumogastrischen Nerven *(Nn. vagi)* zur Medulla oblongata hingeleitet werden, haben auf die Häufigkeit und die Stärke der Atembewegungen Einfluss, und ebenso, wenn auch in geringerem Grade, Erregungen, welche auf anderen Nervenbahnen von anderen Körperstellen zur Medulla gelangen. Werden beide Nn. vagi durchschnitten, so dass keine Erregungen mehr von den Lungen zur Medulla gelangen können, so werden die Atembewegungen seltener und zugleich tiefer. Ebenso ist es bekannt, dass ein Strahl kalten Wassers, welcher die Haut trifft, eine tiefe Inspiration, eine Art von Seufzen, veranlasst, weil von der getroffenen Stelle aus eine Nervenerregung zur Medulla oblongata fortgeleitet wird.

25. So wie es gewisse Nebenerscheinungen giebt, welche die Herzthätigkeit begleiten und durch sie erklärt werden, so giebt es auch Nebenerscheinungen, welche sich auf die Thätigkeit des Atmungsvorganges beziehen. Diese sind *a.* die Atmungsgeräusche und *b.* die Wirkung der Einatmungs- und Ausatmungsbewegungen auf den Kreislauf.

26. Die Atmungsgeräusche sind hörbar, wenn das Ohr auf irgend einen Teil der Brust, der die eine oder andere Lunge bedeckt, gelegt wird. Sie begleiten die Einatmung und Ausatmung und sind den Geräuschen sehr ähnlich, welche erzeugt werden, wenn man durch den Mund atmet und die Lippen so aneinander legt, dass sie nur einen kleinen Zwischenraum zwischen sich lassen. Über den Bronchen sind die Töne lauter, als über der übrigen Oberfläche. Es scheint, dass diese Töne erzeugt werden durch die Bewegung der Luft in den Luftgängen.

27. Infolge der Elasticität der Lungen muss eine gewisse

Kraft aufgewandt werden, um sie auszudehnen, und man hat auf experimentellem Wege gefunden, dass diese Kraft um so gröſser wird, je mehr die Lungen schon ausgedehnt sind; gerade so wie, wenn man ein Stück Gummi elasticum auseinanderzieht, mehr Kraft erfordert wird, es sehr weit auseinanderzuziehen als nur ein wenig. Daraus folgt, dass, wenn die Einatmung stattgefunden hat, und die Lungen ausgedehnt sind und viel Luft enthalten, das Herz und die gröſseren Gefäſse der Brust einem geringeren Drucke unterworfen sind, als die Blutgefäſse der übrigen Teile des Körpers.

Denn der Druck der in den Lungen enthaltenen Luft ist genau derselbe wie jener, welcher von der Atmosphäre auf der Oberfläche des Körpers ausgeübt wird, das heiſst ein Kilogramm auf den Quadratcentimeter. Aber ein gewisser Betrag dieses von der Luft in den Lungen ausgeübten Druckes wird durch die Elasticität der ausgedehnten Lungen im Gleichgewichte gehalten. Sagen wir, dass bei einem gewissen Grade der Einatmung 100 grm Druck auf den Quadratcentimeter erforderlich sind, um die Elasticität zu überwinden, so bleiben nur 900 grm Druck der Luft auf jeden Quadratcentimeter des Herzens und der groſsen Gefäſse. Und daher wird der Druck auf das Blut dieser Gefäſse 100 grm für jeden Quadratcentimeter geringer sein, als jener auf die Venen und Arterien des übrigen Körpers. Wenn die Aorten und Lungenarterienklappen nicht wären, und wenn die Zusammensetzung der Gefäſse und der Druck des Blutes in denselben überall gleich wäre, so würde die Folge dieses Drucküberschusses auf die Oberfläche des Körpers die sein, dass alles Blut aus den Arterien und Venen des übrigen Körpers in das Herz und in die groſsen Gefäſse, die in dem Brustkasten enthalten sind, getrieben würde. Dann würde die durch die Lungen erzeugte Verminderung des Druckes auf die bluthaltigen Hohlräume innerhalb der Brust das Blut aus allen Teilen des Körpers zum Brustkasten saugen. Unter den früher auseinander gesetzten Bedingungen des Gefäſssystems kann aber dieses Einsaugen nur den Strom des Blutes aus den Venen zum Herzen beschleunigen, den Strom vom Herzen zu den Arterien hemmen, und diese beiden Wirkungen müssen einander gleich sein.

Aber wir wissen aus unseren früheren Auseinandersetzungen:

1. Dass das Blut in den groſsen Arterien beständig unter

einem sehr bedeutenden Drucke steht, welcher durch deren elastische Wände ausgeübt wird, während jenes der Venen unter einem geringen oder gar keinem Drucke steht, da die Wände der Venen wenig Elasticität haben.

2. Dass die Wände der Arterien stark und widerstandsfähig sind, während jene der Venen dünn und schlaff sind.

3. Dass die Venen Klappen haben, die sich nach dem Herzen zu öffnen, und dass während der Diastole des Herzens kein Widerstand von irgend welcher Bedeutung für den freien Lauf des Blutes in das Herz vorhanden ist; während andererseits der Binnenraum der Arterien während der Herzpause von der Herzkammer abgeschlossen ist durch den Schluss der halbmondförmigen Klappen.

Daraus folgt, dass ein gleicher Druck, der auf die Oberfläche der Venen und auf jene der Arterien ausgeübt wird, sehr verschiedene Wirkungen hervorbringen muss. In den Venen ist der Druck etwas, was vorher nicht vorhanden war; und sowohl das Vorhandensein von Klappen als auch die Abwesenheit jedes Widerstandes im Herzen, endlich auch der Widerstand in den Haargefäfsen wirken so zusammen, dass der Lauf des Blutes zum Herzen durch den Druck auf die Venenoberfläche beschleunigt wird. In den Arterien andererseits ist der Druck nur eine teilweise Vermehrung dessen, was schon vorhanden war, so dass während der Herzzusammenziehung er verhältnismäfsig nur eine geringe Vermehrung des Widerstandes darstellt, welcher durch die Herzkammer überwunden werden muss; und während der Herzpause gesellt sich der Druck zu der Elasticität der arteriellen Wände, indem er das Blut weiter gegen die Haargefäfse treibt, umsomehr als aller Rückfluss nach der entgegengesetzten Seite durch die halbmondförmigen Klappen gehemmt ist.

Es ist daher klar, dass die Elasticität der Lungen im ganzen die Arbeit des Herzens unterstützt, insofern als ihre allgemeine Wirkung die ist, das Blut in derselben Richtung zu treiben, als es vom Herzen getrieben wird.

28. Bei der Ausatmung wird der Unterschied zwischen dem Drucke der Atmosphäre auf die Körperoberfläche und jenem, welcher auf den Inhalt des Brustkastens durch die Lungen hindurch ausgeübt wird, immer geringer, je mehr sich die Lungen der Ausatmungsstellung nähern. Jedesmal wenn durch das Aufwärts-

steigen des Zwerchfelles und das Sinken der Rippen die Brusthöhle um so viel verengert wird, dass dadurch der Druck auf die grofsen Gefäfse vermehrt wird, sind dabei die Venen, vermöge der Dünnheit ihrer Wände, besonders beteiligt und dem in ihnen enthaltenen Blute wird dadurch ein Widerstand entgegengestellt, welcher ihre Entleerung nach dem Herzen verzögert und deshalb ein Anschwellen derselben bewirkt, welches unter Umständen als sogenannter Venenpuls in den grofsen Gefäfsen des Halses sichtbar wird. In der Wirkung auf die arteriellen Stämme ist sowohl die Ausatmung wie die Einatmung im ganzen dem Umlaufe günstig; der vermehrte Widerstand, der sich dem Öffnen der Klappen während der Herzkammerzusammenziehung entgegenstellt, wird durch den Vorteil, der durch Hinzufügung des Ausatmungsdruckes zur elastischen Gegenwirkung der arteriellen Wände während der Herzpause gewonnen worden ist, mehr als aufgehoben.

Wenn der Schädel eines lebenden Tieres geöffnet und das Gehirn blofsgelegt wird, so sieht man die Gehirnmasse mit den Atembewegungen gleichzeitig steigen und fallen; das Steigen fällt mit der Ausatmung zusammen. Dieses Steigen ist die Folge des verminderten Abflusses des Venenblutes aus dem Gehirne während der Ausatmung, wodurch das Volum des sehr blutreichen Organes etwas zunehmen muss. Bei uneröffnetem Schädel können diese Atembewegungen des Gehirnes nicht stattfinden, weil dasselbe in seiner ringsum geschlossenen festen Kapsel keine Gröfsenveränderungen erfahren kann. Die Einwirkung der Atembewegungen äufsert sich dann aber in einer veränderten Geschwindigkeit der Blutströmung im Gehirne während der Ein- und Ausatmung, was auf die Thätigkeit des Gehirnes nicht ohne Einfluss ist (vgl. Vorl. XI).

29. Die Thätigkeit des Atmungsvorganges wechselt sehr, je nach den Umständen, in denen der Körper sich befindet. So vermehrt Kälte die Menge von Luft, welche eingeatmet wird, die Menge von Sauerstoff, welche aufgenommen, und von Kohlensäure, welche ausgegeben wird; Muskelarbeit und Aufnahme von Speisen haben dieselbe Wirkung.

Im Verhältnisse zum Körpergewichte ist die Thätigkeit des Atmungsvorganges bei weitem am gröfsten bei Kindern und nimmt mit dem Alter ab.

Die Ausscheidung von Kohlensäure ist am gröfsten bei Tage, nimmt zur Nacht hin allmählich ab und ist um Mitternacht oder etwas nach Mitternacht am geringsten.

Die Regel, dass die Menge Sauerstoff, die durch Einatmung aufgenommen wird, nahezu gleich sei jener, welche in Gestalt von Kohlensäure bei der Ausatmung abgegeben wird, findet nur auf das Gesamtergebnis der Atmung innerhalb vierundzwanzig Stunden Anwendung. Es wird nämlich viel mehr Sauerstoff während des Tages ausgegeben (in Verbindung mit Kohle als Kohlensäure) als aufgenommen wird, während in der Nacht mehr Sauerstoff aufgenommen, als in Form von Kohlensäure während derselben Zeit ausgegeben wird. Es ist möglich, dass der Mangel an Sauerstoff, welcher hierdurch gegen das Ende der wachenden Stunden zu stande kommen muss, eine der Ursachen der Müdigkeit ist, welche um diese Zeit auftritt.

Doch haben neuere Untersuchungen gelehrt, dass jene Unterschiede in der Aufnahme und Abgabe nicht unbedingt von der Tageszeit abhängen, sondern hauptsächlich von der Nahrungsaufnahme herrühren und sich umkehren, wenn die Nahrung während der Nacht aufgenommen wird.

Die Menge Sauerstoff, welche im Verhältnisse zu der ausgegebenen Kohlensäure verschwindet, ist am gröfsten bei fleischfressenden und am geringsten bei pflanzenfressenden Tieren, gröfser bei einem Menschen, welcher von Fleischkost lebt, als wenn derselbe Mensch Pflanzenkost geniefst.

30. Wenn ein Mensch gehängt, ertränkt oder erwürgt oder auf irgend eine andere Art verhindert wird, genügend reine atmosphärische Luft ein- oder auszuatmen, dann tritt dasjenige ein, was man Asphyxie oder Erstickung nennt. Er wird „schwarz im Gesichte“ und seine Venen schwellen an: Gefühllosigkeit, nicht selten von krampfhaften Bewegungen begleitet, tritt ein, und er ist in wenigen Minuten tot.

Es ist indessen nicht unbedingt nötig, einen Menschen zu erwürgen oder zu ertränken, um ihn zu ersticken. Da unter sonst gleichen Umständen die Geschwindigkeit der Diffusion zwischen zwei Gasgemengen abhängt von dem Unterschiede der Verhältnisse, in welchen ihre Bestandteile gemischt sind, so folgt, dass in dem Maſse, als die Zusammensetzung der Atmungsluft sich derjenigen der ständigen Luft nähert, die Diffusion der

Kohlensäure nach aufsen und des Sauerstoffes nach innen langsamer werden und die Luft in den Alveolen mehr beladen mit Kohlensäure und ärmer an Sauerstoff werden wird. Wenn man also die Menge der Kohlensäure in der Atmungsluft vermehrt und die des Sauerstoffs vermindert, wird endlich ein Punkt erreicht werden, wo der Wechsel, der in der ständigen Luft vorgeht, zu gering ist, um das Lungenblut von seiner Kohlensäure zu befreien und es mit Sauerstoff zu versehen bis zu dem Grade, den es zu seiner Arterialisierung nötig hat.

31. In allen Fällen von Asphyxie, wie sie auch entstanden sein möge, ist demnach das Blut, welches durch die Lungenvenen in den linken Vorhof gelangt, nicht arteriell, wie es sein sollte, sondern venös und wird mit der Zeit nur noch immer venöser. Mithin ist auch das Blut, welches vom linken Ventrikel durch alle Teile des Körpers geleitet wird, nicht arteriell, sondern venös, und demnach werden alle Gewebe und Organe mit venösem statt mit arteriellem Blut versorgt. Darum erleiden sie Änderungen in ihrem physiologischen Verhalten, und das Atmungscentrum ist eines der ersten Organe, an welchem dies bemerklich wird. Es entstehen in ihm heftige Erregungen, welche zuerst in Form verstärkter inspiratorischer und exspiratorischer Bewegungen auftreten; zuletzt aber gehen diese in allgemeine Krämpfe über. Auch das Gehirn wird durch das venöse Blut vergiftet und stellt seine Thätigkeit ein, so dass Bewusstlosigkeit und Verlust des Empfindungsvermögens eintreten. Das Herz und das ganze Gefäfssystem werden beeinflusst; das Herz, besonders seine rechte Hälfte, strotzt von Blut, ebenso das Venensystem. Daraus folgt das blaurote Aussehen des Gesichts. Später verliert das ganze Nervensystem seine Erregbarkeit; die Atembewegungen hören auf, der ganze Körper erscheint gelähmt; zuletzt hört auch das Herz zu schlagen auf und der Tod tritt ein.

32. Venöses Blut unterscheidet sich aber von arteriellem durch zwei Umstände; es enthält weniger Sauerstoff und mehr Kohlensäure. Also wirken bei dem Erstickungsvorgange zwei Einflüsse von verschiedener Natur zusammen. Der eine ist der Mangel an Sauerstoff, der andere die aufserordentliche Anhäufung von Kohlensäure im Blute. Sauerstoffmangel und Kohlensäurevergiftung, jedes für sich schon gefährlich, sind hier zusammen thätig.

Die Wirkungen der Sauerstoffentziehung können für sich beobachtet werden, wenn man ein kleines Tier unter die Glocke einer Luftpumpe bringt und die Luft auspumpt; oder indem man die Luft durch reines Wasserstoff- oder Stickstoffgas ersetzt. In diesen Fällen ist keine Anhäufung von Kohlensäure möglich, aber andererseits wird die Zufuhr von Sauerstoff bald ungenügend, und das Tier stirbt schnell unter den Zeichen der Asphyxie. Auch wenn der Versuch auf andere Weise gemacht wird, indem man ein kleines Säugetier oder einen Vogel in einen abgesperrten Luftraum bringt, aus welchem die Kohlensäure sofort nach ihrer Bildung entfernt wird, so wird das Tier dennoch sterben, sobald der Sauerstoffgehalt der Luft auf zehn Prozent ungefähr vermindert worden ist.

Die unmittelbare vergiftende Wirkung von Kohlensäure andererseits ist sehr übertrieben worden. Eine sehr grofse Menge reiner Kohlensäure (zehn bis fünfzehn oder zwanzig Prozent) kann in der Luft enthalten sein, ohne irgend eine ernste unmittelbare Wirkung auszuüben, sofern nur noch genügender Sauerstoff vorhanden ist. Was uns bei der gewöhnlichen Erstickung als unmittelbare vergiftende Wirkung der Kohlensäure erscheint, ist in Wirklichkeit mehr dem Sauerstoffmangel zuzuschreiben. Als Hauptursache der Asphyxie beim Erdrosseln, Ertrinken u. s. w. haben wir deshalb immer den Sauerstoffmangel anzusehen. Aber freilich, wenn die Kohlensäure sich gar zu sehr im Körper ansammelt, dann kann sie auch selbständig als Gift wirken und den Tod herbeiführen, selbst wenn noch reichlich genug Sauerstoff vorhanden ist, um das Leben weiter zu unterhalten.

33. Dass wirklich der Sauerstoffmangel das wichtigste Moment bei der Erstickung ist, wird noch weiter bewiesen durch die Wirkungsweise gewisser giftiger Gase. So galt Schwefelwasserstoff, ein Gas, welches sich u. a. aus faulenden organischen Stoffen, besonders aus faulenden Kotmassen entwickelt, und das hinlänglich durch seinen schlechten Geruch bekannt ist, lange Zeit als ein positives Gift. Aber seine verderblichen Wirkungen lassen sich hauptsächlich, wenn nicht vollständig, aus dem Umstande erklären, dass sich der in ihm enthaltene Wasserstoff mit dem in den Blutkörperchen enthaltenen Sauerstoff verbindet, und so indirekt eine Art Sauerstoffentziehung verursacht.

Kohlenoxydgas, welches bei unvollkommener Verbrennung in Öfen und Kaminen ensteht und auch im Leuchtgas enthalten ist, hat eine weit ernstere Wirkung, indem es den Sauerstoff aus den Blutkörperchen austreibt und selbst eine Verbindung mit dem Blutfarbstoffe eingeht. Diese so gebildete Verbindung kann allmählich wieder durch frischen Sauerstoff zersetzt werden; aber, wenn irgend ein erheblicher Teil der Blutkörperchen durch Aufnahme von Kohlenoxyd für die normale Ernährung der Gewebe unbrauchbar gemacht worden ist, dann stirbt das Tier, bevor die Wiederherstellung erfolgen kann.

Schlecht bereitetes gewöhnliches Leuchtgas enthält immer etwas Schwefelwasserstoff und manchmal zwanzig bis dreifsig Prozent Kohlenoxyd, und somit kann ein Undichtwerden der Gasröhren in einem Hause sehr lebensgefährlich werden.

34. Die ersten Wirkungen ungenügender Sauerstoffzufuhr, wobei die Atmung beschleunigt und vertieft ist, wird als Dyspnoe oder Atemnot bezeichnet. Dyspnoe tritt jedesmal ein, wenn der Sauerstoffgehalt der Atemluft merklich abnimmt. Eine geringe Abnahme kann ohne alle Wirkung bleiben oder nur eine geringe Beschleunigung und Vertiefung der Atembewegungen veranlassen. Wenn aber der Sauerstoffgehalt der Atemluft erheblich sinkt, etwa bis auf 10 Prozent, so wird der Fall sehr bedenklich. Und dabei macht es keinen Unterschied, ob diese Sauerstoffabnahme herrührt von dem Mangel an frischer Luft oder von der zu grofsen Zahl von Menschen, welche in einem gegebenen Luftraum atmen, oder davon dass irgend welche Verbrennungsvorgänge gleichzeitig einen Teil des Sauerstoffes in Anspruch nehmen.

Aber in dem Fall, dass ein Mensch die Luft eines abgeschlossenen Raumes immer und immer wieder ein- und ausatmet, verursachen die Verminderung des Sauerstoffes und Anhäufung von Kohlensäure Beschwerde, lange bevor der Erstickungspunkt erreicht wird. Unter diesen Umständen entstehen Unbehagen und Kopfschmerz schon, wenn weniger als ein Prozent Sauerstoff der Luft durch andere Stoffe ersetzt wird. Die Ursache dieser Erscheinungen liegt nicht in der Sauerstoffverminderung oder Kohlensäureanhäufung, sondern in der giftigen Wirkung gewisser organischer Stoffe, welche zwar nur in sehr geringer Menge vorhanden sind, aber dennoch sehr starke Wirkungen ausüben. Es

braucht kaum gesagt zu werden, dass anhaltendes und oft wiederholtes Atmen solcher Luft dazu führt, alle Äufserungen der Lebensthätigkeiten herab zu stimmen und zu Krankheiten geneigt macht.

Daraus folgt die Notwendigkeit genügender Lufterneuerung und Lüftung der Wohnungen für jedes menschliche Wesen. Um mit Atmungsluft von gehöriger Reinheit versehen zu werden, müsste jeder Mensch wenigstens 21 cbm Raum* für sich haben, und dieser Raum müsste durch mittelbare und unmittelbare Kanäle der Atmosphäre freien Zutritt gewähren. Besonders wichtig aber wird die Lüftung in Räumen, wo viele Menschen zusammenleben, zumal in Schulzimmern, da im kindlichen Alter noch leichter als später die Gesundheit durch Atmung schlechter Luft Schaden leidet. In Fabriken ferner, wo viele Arbeiter in demselben Raume zusammen sind, und wo neben den Atmungsstoffen auch noch Staub oder andere gesundheitsgefährliche Stoffe sich entwickeln, sollte stets sorgfältig auf eine fortwährende Erneuerung der Luft gesehen werden, indem dadurch die Gesundheit der Arbeiter erhalten und ihre Arbeitskraft vermehrt wird.

---

* Ein würfelförmiger Raum von 3 m Höhe, Länge und Breite enthält bekanntlich 27 cbm Luft.

FÜNFTE VORLESUNG.

Die Quellen des Gewinnes und des Verlustes für das Blut.

1. Das Blut, welches durch den in der vorhergehenden Vorlesung beschriebenen Vorgang in arterielles Blut verwandelt worden ist, wird aus den Lungen durch die Lungenvenen in den linken Vorhof geleitet, von hier in die linke Herzkammer und aus dieser in die grofse Herzader oder Aorta. Dieses grofse Gefäfs sendet bei seinem Durchgange durch den Brustkasten viele grofse Arterien aus, mit deren Hilfe der Kopf, die Arme und die Wände des Rumpfs mit Blut versehen werden. Das Zwerchfell durchschneidend tritt der Aortenstamm in die Bauchhöhle ein und wird hier zur sogenannten Bauchaorta, aus welcher Gefäfse in die Eingeweide des Bauches gehen. Zuletzt geht der Hauptstrom des Blutes in die beiden Aa. iliacae über, von welcher die Eingeweide des Beckens und die Beine versorgt werden.

Wenn das Blut die letzten Verzweigungen der Arterien durchlaufen hat, geht es, wie wir gesehen haben, in die Haargefäfse über. Hier fliefsen ihm ununterbrochen die verbrauchten Produkte der Gewebe zu; und da das Blut überall mit Körperchen angefüllt ist, welche, wie alle lebenden Dinge, zerfallen und sterben, so häufen sich überall im Blute die Erzeugnisse ihrer Zersetzung an. Doch ist die Menge dieser letzteren unbedeutend im Vergleich zu denen, welche aus der grofsen Masse der Gewebe stammen. Es folgt daraus, dass, wenn das Blut rein erhalten werden soll, die fortwährend in dasselbe ergossenen oder in ihm selbst erzeugten Stoffe des Verbrauches ebenso beständig ausgestofsen werden müssen.

2. Drei besondere Arten von Organen sind hauptsächlich dazu bestimmt, fortwährend die Zerfallsprodukte aus dem Blute

auszuscheiden. Dieses sind die Lungen, die Nieren und die Haut (vgl. Vorl. I, § 23). Diese drei grofsen Organe können daher für eben so viele Abzugsröhren aus dem Blute oder für eben so viele Kanäle, durch welche das letztere fortwährend an Substanz verliert, angesehen werden.

Ferner giebt das Blut, indem es durch die Haargefäfse geht, fortwährend Stoffe durch Ausschwitzung an die umgebenden Gewebe ab, um dieselben mit Nährstoffen zu versorgen; es verliert also auch auf diesem Wege fortwährend an Stoffen.

Die Stoffe, welche das Blut an die Gewebe abgiebt, sind chemisch hoch zusammengesetzte Substanzen, als da sind: Eiweifskörper, Fette, Kohlehydrate und verschiedene Substanzen, welche aus diesen entstanden sind; ferner Salze, Wasser und endlich Sauerstoff.

Die Stoffe, welche das Blut verliert durch Abgabe an die Haut, die Lungen und die Nieren, verlassen diese Organe in der Gestalt von Wasser, Kohlensäure, gewisser organischer Substanzen, unter denen eine, der Harnstoff, alle anderen an Menge bedeutend übertrifft, und gewisser Salze. Wenn wir uns nur an die Hauptsache halten, können wir sagen, dass durch jene Organe das Blut Wasser, Kohlensäure, Harnstoff und Salze verliere.

Eine andere Art Verlust findet statt durch die Oberfläche des Körpers im allgemeinen, und durch die innere Oberfläche der Luftgänge und Lungen. Durch die erstere wird fortwährend Wärme ausgegeben vermittelst Strahlung, Verdunstung und Leitung; durch die letzteren hauptsächlich durch Verdunstung; und dieser Wärmeverlust kühlt auch das Blut ab, während es durch die Kapillaren der Haut und der Luftwege strömt. Aufserdem verliert der Körper stets ein wenig Wärme durch die Abgabe von Harn und Kot, da diese den Körper mit der hohen Temperatur des letzteren verlassen.

3. Wenden wir uns jetzt zur Betrachtung der Stoffe, welche dem Blute zufliefsen, so finden wir da zunächst die verschiedenen Stoffe, welche bei der Thätigkeit der Organe in diesen entstehen und welche aus diesen Organen, Muskeln, Gehirn u. s. w. in das Blut übertreten. Wir können sie als Zersetzungsprodukte bezeichnen. Eines derselben, welches in allen Geweben entsteht, die Kohlensäure, ist gleichsam das Hauptzersetzungsprodukt; dasselbe wird so schleunig als möglich aus dem Körper ausge-

schieden. Aber einige von den solcher Art ins Blut gelangenden Stoffen sind nicht ganz wertlose Substanzen, deren sich der Körper so schnell als möglich entledigen muss, sondern können in diesem oder jenen Gewebe noch eine Verwendung finden. So giebt, wie wir noch sehen werden, die Leber, zu gewissen Zeiten wenigstens, an das Blut etwas Zucker ab, der an anderen Stellen des Körpers Verwendung findet. Auch die Milz nimmt zwar einerseits gewisse Blutbestandteile auf, giebt aber andererseits auch gewisse andere Stoffe an das Blut ab, welche nicht so ohne weiteres als Zersetzungsprodukte angesehen werden können, die ohne alle weitere Verwendung und nur zur Ausscheidung bestimmt wären.

Zweitens nimmt das Blut fortwährend aus dem Ernährungsschlauch Stoffe auf, welche aus den dort verdauten Nahrungsstoffen entstanden sind. Wie wir noch sehen werden, gehen einige dieser Stoffe unmittelbar aus dem Darmkanal in das Blut über, während andere erst den Umweg durch die Chylus- oder Lymphgefäfse machen. Auf diesem Umwege treffen die letzteren mit Stoffen zusammen, welche aus dem Blut stammen, aber in den Geweben keine Verwendung gefunden haben oder von den Geweben unmittelbar in die Lymphbahnen und so durch den Brustlymphstamm wieder zum Blut zurückgelangt sind (vgl. Vorl. II, § 5).

Drittens nimmt das Blut fortwährend Sauerstoff aus der Luft auf durch Vermittelung der Lungen.

Endlich nimmt das Blut, während es in Haut und Lungen Wärme verliert, auch seinerseits Wärme auf aus den Geweben. Wie wir schon gesehen haben (Vorl. I, § 24), findet fortwährend in allen Geweben ein Oxydationsprozess statt und durch diesen wird fortwährend Wärme erzeugt. Vielleicht findet auch im Blute selbst Oxydation statt; wir wissen nicht, in welchem Mafse, aber jedenfalls ist es nur sehr wenig. Der gröfste Teil der Wärmeproduktion findet jedenfalls in den Geweben statt, namentlich in den Muskeln und geht von den Geweben auf das sie durchströmende Blut über. Daher dürfen wir sagen, das Blut nehme Wärme aus den Geweben auf.

4. Diese verschiedenen Gewinne und Verluste gehen zum gröfsten Teil stetig vor sich, wechseln aber in ihrem Betrage von einem Zeitpunkt zum anderen. So ist der Gewinn des

Blutes aus dem Nahrungskanal einige Zeit nach einer Mahlzeit viel gröſser als kurz vor der Mahlzeit, obgleich in der Regel, d. h. wenn die Mahlzeiten nicht in sehr langen Zwischenräumen eingenommen werden, bei Beginn der neuen Mahlzeit noch Stoffe der vorhergehenden im Darm zu sein pflegen, welche also noch gar nicht ins Blut gelangt sind. Auch die Muskeln nehmen selbst bei völliger Ruhe immer etwas Sauerstoff auf und geben Kohlensäure und andere Zersetzungsprodukte ab; doch wird diese Aufnahme und Abgabe erheblich gesteigert, wenn die Muskeln Arbeit leisten. Ferner haben auch gewisse sogenannte „sekretorische Drüsen", von denen bald mehr die Rede sein wird, z. B. die Speicheldrüsen, Zeiten der Ruhe und der Thätigkeit. Nur zu gewissen Zeiten, z. B. wenn Nahrung aufgenommen worden ist, sondern sie merkliche Mengen von Flüssigkeit ab. Dementsprechend nehmen sie wohl auch Stoffe aus dem Blut und speichern dieselben auf, so lange sie in Ruhe sind, aber diese Aufnahme wird doch viel gröſser und demnach auch der durch sie verursachte Verlust des Blutes, wenn sie wirklich ihr Sekret nach auſsen entleeren. Bei anderen Drüsen, der Leber z. B., ist der Verlust des Blutes ein gleichmäſsigerer; denn die Stoffe, die zur Gallenbildung dienen, werden aus dem Blut entnommen, aber die Lebersekretion geht, wie wir sehen werden, stetig vor sich, wenn auch zu manchen Zeiten stärker als zu anderen. Andererseits kehren einige Bestandteile der Galle aus dem Darm wieder in das Blut zurück; so kommt es, dass der Verlust, welchen das Blut durch Abgabe dieser Stoffe erleidet, nur ein vorübergehender ist.

Von allen Einnahmen des Blutes ist wohl der konstanteste die Aufnahme des Sauerstoffes und von allen Verlusten wohl der konstanteste die Ausgabe von Kohlensäure. Aber auch diese schwanken innerhalb weiter Grenzen je nach den Umständen.

Fassen wir die Hauptsachen nochmals zusammen, so gewinnt also das Blut Sauerstoff in den Lungen, zusammengesetzte organische Stoffe aus dem Nahrungskanal und verschiedene Zersetzungsprodukte aus allen Geweben; und es verliert auf der anderen Seite Stoffe an die Gewebe, welche zum Aufbau und Ersatz derselben dienen, und Ausscheidungsprodukte, namentlich Wasser, Kohlensäure, Harnstoff und Salze, an die Haut, die Lungen und die Nieren. Auſserdem nimmt es fortwährend

Wärme aus den Geweben auf und giebt gleichfalls fortwährend Wärme durch die Haut, die Lungen und an anderen freien Oberflächen ab.

5. Die Quellen des Verlustes und Gewinnes für das Blut können passend in folgende Tabelle gebracht werden*:

A. Quellen des Gewinnes.

I. Stoffgewinn.

1. Die Lungen: Sauerstoff (nahezu konstant).
2. Der Nahrungskanal: Nahrung (veränderlich).
3. Die Gewebe: Zersetzungsstoffe, welche in den Geweben entstehen (dauernd, aber wechselnd, je nach dem Grade der Thätigkeit der einzelnen Gewebe).
4. Die Lymphgefäſse: Lymphe (dauernd, aber veränderlich, je nach der Thätigkeit der einzelnen Gewebe).**

II. Wärmegewinn.

1. Die Gewebe im allgemeinen, besonders diejenigen, in denen lebhaftere Thätigkeit stattfindet, hauptsächlich die Muskeln.
2. Das Blut selbst, aber wohl nur in sehr geringem Grade.

B. Quellen des Verlustes.

I. Stoffverlust.

1. Die Lungen: Kohlensäure, Wasser (fast konstant).
2. Die Nieren: Harnstoff, Wasser, Salze (fast konstant).
3. Die Haut: Wasser, Kohlensäure (fast konstant).
4. Die Gewebe: Ernährungsmaterial, Ersatz der dort verbrauchten Stoffe (veränderlich, besonders in denjenigen Geweben, deren Thätigkeit mit Unterbrechungen vor sich geht, wie Muskeln, manche Drüsen u. a.).

II. Wärmeverlust.

1. Die Haut.
2. Die Lungen.
3. Die Ausscheidungen durch Nieren und Darmkanal.

6. In der vorhergehenden Vorlesung habe ich den Vorgang

* Der Leser muss sich in acht nehmen, den Gewinn und Verlust für das Blut nicht mit dem Gewinne und Verluste des Körpers überhaupt zu verwechseln. Die beiden unterscheiden sich ebenso, wie sich der Binnenhandel eines Landes von dessen Export- und Importhandel unterscheidet.

** Der Gewinn aus denjenigen Lymphgefäſsen, welche Chylusgefäſse genannt werden, wechselt noch in weiteren Grenzen, da diese aus dem Nahrungskanal kommen.

beschrieben, durch welchen die Lungen aus dem Blute viel Kohlensäure und Wasser aussondern und ihm Sauerstoff zuführen; ich gehe nun zu der zweiten Quelle beständigen Verlustes, zu den Nieren, über

Von diesen Organen giebt es zwei, welche an der Rückwand der Bauchhöhle liegen, je eine auf jeder Seite der Lendengegend der Wirbelsäule. Sie haben dieselbe Form wie die Nieren eines Schafes, nur sind sie etwas gröfser. Die eingedrückte oder konkave Seite der Niere ist nach innen oder der Wirbelsäule zugekehrt, die konvexe Seite ist nach aufsen gekehrt (Fig. 25). Aus der Mitte der konkaven Seite jeder Niere (Hilus genannt) entspringt eine lange, enge Röhre, der Harnleiter (Ureter), welcher bis zur Harnblase verläuft.

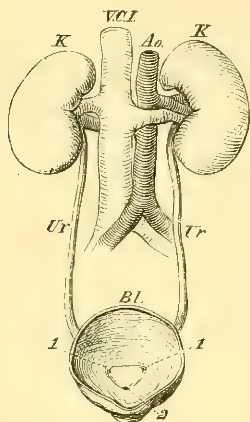


Fig. 25.

Die Nieren (*K*), **die Harnleiter** (*Ur*), die Aorta (*Ao*) und die untere Hohlvene (*VCI*) mit den **Nierenarterien** und **Venen.** *Bl* die Harnblase, deren Oberteil abgeschnitten ist, um die Mündungen der Harnleiter (1.1) und die der Harnröhre (2) zu zeigen.

Die letztere, im Becken gelegen, ist ein eiförmiger Sack, dessen Wände eine grofse Anzahl glatter Muskelfasern enthalten, welcher inwendig mit einer Schleimhaut ausgekleidet ist und aufsen zum Teil vom Peritoneum oder Bauchfell überzogen ist; letzteres stellt einen doppelwandigen Sack dar, welcher dieselbe Beziehung zur Bauchhöhle und den in ihr gelegenen Eingeweiden hat wie die Pleura (das Brustfell) zur Brusthöhle und den Lungen. Die Harnleiter münden neben einander, aber in einer kleinen Entfernung von einander in die hintere, untere Wand der Harnblase ein (Fig. 25, 1, 1). Etwas nach vorn von diesen ist eine einzige Öffnung, welche in einen Kanal führt, der Harnröhre genannt wird (Fig. 25, 2), und durch welchen der Hohlraum der Harnblase mit der Aufsenfläche des Körpers in Verbindung gesetzt ist. Die Öffnungen der Harnleiter durchsetzen schräg die Wände der Harnblase, so dass es für die Flüssigkeit viel leichter ist, aus den Harnleitern in die Blase zu gelangen als umgekehrt aus der Blase in die Harnleiter.

Vom rein mechanischen Standpunkte aus besteht wenig Widerstand für den freien Lauf der Flüssigkeit aus den Harnleitern in die Blase und aus der Blase in die Harnröhre und von da nach aufsen; aber gewisse Muskelfasern, welche kreisrund um den Teil der Blase, welcher Blasenhals genannt wird, angeordnet liegen, bilden an dieser Stelle einen sogenannten Sphinkter oder Schliefsmuskel und sind gewöhnlich während des ganzen Lebens in einem Zustande von Zusammenziehung, so dass sie den Ausgang der Blase schliefsen, während die übrigen Muskelfasern des Organes erschlafft sind.

Dieser Zustand kehrt sich jedoch in Zwischenräumen um, und wenn nun die Wände der Blase sich zusammenziehen, während der Schliefsmuskel erschlafft, so entleert sie sich ihres Inhaltes, des Harnes oder Urines. Aber obgleich die Ausstofsung des Nierensekrets aus dem Körper nur in Zwischenräumen stattfindet, so findet doch die Ausscheidung selbst ununterbrochen statt, und die Harnflüssigkeit fliefst tropfenweise aus der Öffnung der Harnleiter in die Blase. Hier sammelt sie sich an, bis ihre Menge grofs genug ist, um jenes unbehagliche Gefühl zu erwecken, welches zur Austreibung veranlasst.

7. Die von den Nieren abgesonderte Flüssigkeit hat für gewöhnlich eine sauere Reaktion und besteht hauptsächlich aus Harnstoff und einer geringen Menge von Harnsäure neben anderen tierischen Produkten von weniger Wichtigkeit, einschliefslich gewisser Farbstoffe, aus Salzen und gasigen Substanzen, welche alle durch eine grofse Menge Wasser in Lösung gehalten werden.

Die Menge und die Zusammensetzung des Harnes wechselt sehr, je nach der Tageszeit, der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, dem leeren oder gefüllten Zustande des Verdauungskanales und der Natur der Nahrung.

Harnstoff und Harnsäure sind beide zusammengesetzt aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, aber der Harnstoff ist viel löslicher in Wasser, und seine Menge übersteigt sehr jene der Harnsäure.

Ein gesunder Mann sondert im Mittel durch die Nieren ungefähr 1500 ccm Wasser täglich ab. In diesem sind etwa 35 grm Harnstoff, aber nicht mehr als etwa 0,75 grm Harnsäure aufgelöst.

Der Betrag anderer tierischer Stoffe und der Salze schwankt zwischen einem Drittel bis zu fast dem vollen Betrage des Harnstoffes. Die Salze bestehen hauptsächlich aus gewöhnlichem Kochsalze, phosphorsaurem und schwefelsaurem Kali, Natron, Kalk und Magnesia. Das im Harn absorbierte Gas besteht fast nur aus Kohlensäure; daneben kommt noch eine geringe Menge Stickstoff und noch weniger Sauerstoff vor.

Das mittlere spezifische Gewicht des Harnes unterscheidet sich nicht sehr von jenem des Blutserums, indem es etwa 1,020 beträgt.

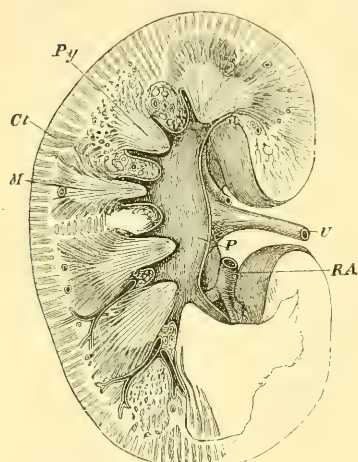


Fig. 26.

Längsschnitt durch eine menschliche Niere. *Ct* Rindensubstanz; *M* Marksubstanz; *P* Nierenbecken; *U* Harnleiter; *RA* Nierenarterie; *Py* Pyramide.

8. Die Absonderung stickstoffhaltiger Produkte des Stoffwechsels in den Geweben und des Wassers mit ein wenig Kohlensäure durch die Nieren ist daher vollständig vergleichbar jener von Kohlensäure und Wasser mit etwas Harnstoff durch die Lungen, in deren Luftzellen sich fortwährend Kohlensäure und Wasserdämpfe ansammeln, um dann periodisch durch den Akt des Ausatmens ausgestofsen zu werden. Aber der Vorgang im Nierenapparate unterscheidet sich von jenem in den Atmungsorganen durch die viel längeren Zwischenräume zwischen den Austreibungszeiten und noch mehr durch den Umstand, dass die Substanz, welche die Lungen e i n n e h m e n, ebenso wichtig ist als jene, welche sie a b g e b e n, während die Nieren nichts einnehmen.

9. Gewichtige Gründe sprechen für die Annahme, dass viele der Harnbestandteile schon im Blute enthalten seien. Diese erscheinen im Harn aufgelöst in einer grofsen Menge Wassers. Aber viele andere Stoffe, welche auch im Blute vorhanden sind, gehen, wenigstens bei gesunden Menschen, n i c h t in den Harn über. Das führt uns zu der Anschauung, dass die Nieren eine besondere Art von Filter seien, welche gewissen Stoffen zu-

sammen mit einer grofsen Wassermenge den Durchtritt gestatten, anderen Stoffen dagegen ihn verwehren. Und wenn wir den feinern Bau der Niere studieren, so finden wir vieles, das uns in dieser Auffassung bestärkt.

Macht man einen Längsschnitt durch die Nieren (Fig. 26), so sieht man das obere Ende des Harnleiters (U) sich zu einer Höhlung erweitern, welche das Nierenbecken genannt wird. In diesen Raum ragen verschiedene kegelförmige Erhebungen hinein, welche Pyramiden genannt werden, und auf deren Spitzen sind eine grofse Menge aufserordentlich kleiner Öffnungen — die letzten Enden der Harnröhrchen, aus denen hauptsächlich die Masse der Nieren zusammengesetzt ist. Wenn man die Röhrchen von ihren Öffnungen an nach der Oberfläche der Nieren hin verfolgt, so findet man, dass sie zuerst parallel in Bündeln bei einander liegen, welche näher der Oberfläche strahlenförmig auseinander gehen und sich im weiteren Verlaufe in Zweigröhren trennen; aber zuletzt breiten sie sich unregelmäfsig aus und werden gewunden. Dann biegt jedes Harnröhrchen schleifen- oder haarnadelförmig um, wird abermals gewunden und geht zuletzt in eine Erweiterung, die Malpighi'sche Kapsel (Fig. 27, I), über. Weil in ihm nur gerade Röhrchen vorhanden sind, sieht der mittlere Teil der Niere, Marksubstanz genannt, anders aus als der oberflächliche Teil, die Rindensubstanz; aber aufserdem ist die Rindensubstanz reichlicher mit Gefäfsen versehen als die Marksubstanz, und ist dadurch dunkler gefärbt.

In die Spitze einer jeden Kapsel mündet ein kleines Gefäfs, das sogenannte zuführende Gefäfs *(vas afferens)*, eine der letzten Verzweigungen der Nierenarterie (Fig. 28

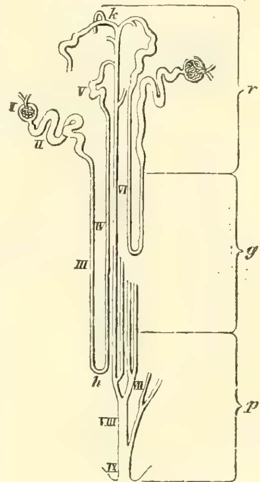


Fig. 27.

Schematische Darstellung des Verlaufes der Harnröhrchen in der Niere. *r* Rindenteil, entsprechend dem Teile *Ct* der Fig. 26, der Punkt *k* liegt nahe der Oberfläche der Niere; *g,p* Markteil der Röhrchen, *p* reicht bis zur Spitze der Pyramide. *IX* Öffnung des Röhrchens an der Pyramidenspitze; *VIII, VII, VI* der gerade Teil der Röhrchen; *V—II* der gewundene Teil der Röhrchen; *I* die Malpighi'sche Kapsel.

und 29, va). Diese dringt an der konkaven Seite, neben dem Ureter, in die Niere ein, teilt sich in Zweige, welche zwischen den Pyramiden verlaufen, und giebt, sobald sie die Rindensubstanz erreicht hat, kleine Äste zu den MALPIGHI'schen Kapseln ab. Wo sie diese erreichen, drängen sie die dünne Wand der Kapsel vor sich her und zerteilen sich im Innern der Kapsel

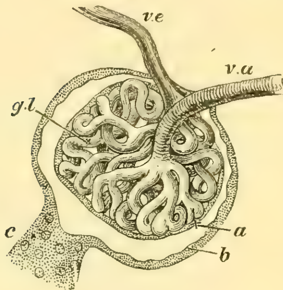


Fig. 28.

Malpighi'sche Kapsel, stark vergröfsert. *va* Kleiner Ast der Nierenarterie, welche in die Kapsel eintritt, sich dort in den Glomerulus, *gl*, auflöst und nach seiner Wiedervereinigung wieder austritt (*ve*). *c* Das Ende des Harnröhrchens; *a* das Epithel, welches den Glomerulus überzieht; *b* der Epithelüberzug der Kapsel.

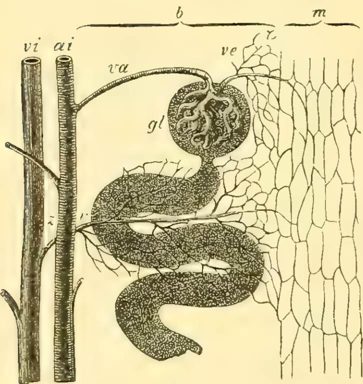


Fig. 29.

Der Blutlauf in der Niere. *ai* Kleiner Ast der Nierenarterie, welcher den Zweig *va* abgiebt; dieser tritt in die Malpighi'sche Kapsel ein, bildet den Glomerulus, tritt bei *ve* wieder aus, löst sich in Kapillaren auf, welche die Harnröhrchen umspinnen und zuletzt eine kleine Vene *zv* bilden, die sich in den Venenast *vi* ergiefst; *m* sind Kapillaren in solchen Teilen, wo keine Glomeruli vorkommen.

unmittelbar in ein Bündel verschlungener Haargefäfse, welches Gefäfsknäuel oder Glomerulus genannt wird (Fig. 28, gl) und welches fast den ganzen Hohlraum der Kapsel ausfüllt.

Das Blut wird aus dem Glomerulus durch ein kleines Gefäfs weggeführt, welches sich nicht nach Art einer Vene sogleich mit anderen kleinen Gefäfsen zu einem gröfseren Stämmchen vereinigt, sondern in ein Netzwerk von Haargefäfsen mündet, welches die oben erwähnten Harnröhrchen umspinnt, eine Nachahmung des Pfortaderkreislaufes in kleinerem Mafsstabe. Man

nennt daher dieses kleine Gefäfs auch nicht Vene, sondern bezeichnet es als ausführendes Gefäfs *(vas efferens)* des Glomerulus und das andere das zuführende *(vas afferens)*. Erst aus den Kapillaren desselben entstehen dann die eigentlichen Venen (vgl. Fig. 28 und 29).

Die Harnröhrchen haben eine epitheliale Auskleidung (vgl. Fig. 28c und Fig. 30a), eine Fortsetzung derjenigen des Nierenbeckens und der Harngänge im allgemeinen. Das Epithelium ist dick und platt in den Röhrchen, wird aber sehr dünn und zart in der Kapsel und auf dem Glomerulus.

10. Es ist aus dieser Beschreibung ersichtlich, dass die Oberfläche des Glomerulus in Wirklichkeit frei liegt oder mit der Aufsenfläche des Körpers durch Vermittelung der Harnröhrchen in Verbindung steht; und dass ferner in jedem Gefäfse des Glomerulus ein dünner Blutstrom fliefst, der von der Höhlung der Röhre nur durch die Wand des Gefäfses und die sehr feine Haut geschieden ist, welche den Glomerulus überzieht. Die Malpighi'sche Kapsel kann deshalb in der That für einen Trichter angesehen werden, und die häutigen Wände des Glomerulus für eine Art sehr feinen, aber eigenartigen Filters, in welches das Blut gegossen wird.

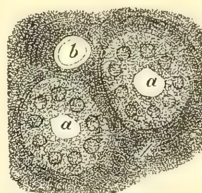


Fig. 30.

Querschnitt zweier Harnröhrchen. *a, a* Die Lichtung zweier Harnröhrchen, von ihrem Epithel umgeben; *b* ein durchschnittenes Blutgefäfs.

11. Und in der That haben wir Grund anzunehmen, dass ein grofser Teil des Harnwassers zusammen mit gewissen Bestandteilen des Harns innerhalb der Malpighi'schen Kapsel gleichsam aus dem Blute abfiltriert werden. Doch muss man sich stets gegenwärtig halten, dass der Vorgang immerhin verschieden ist von dem, welchen wir beim gewöhnlichen Filtrieren durch Filtrierpapier beobachten. Denn solches Papier lässt alles hindurchtreten, was wirklich gelöst ist, während der Glomerulus zwar einige Stoffe hindurchlässt, andere jedoch zurückhält, ob sie gleich ebenso wie jene im Zustand vollkommener Lösung sich befinden.

Indem wir den Vorgang also unter diesem Vorbehalt als einen Filtrationsprozess ansehen, können wir verstehen, dass die Harnausscheidung um so lebhafter vor sich gehen muss, je stärker die Füllung des Glomerulus ist. Daraus wird es ver-

ständlich, dass bei reichlichem Zufluss des Blutes zur Niere auch reichliche Harnabsonderung stattfindet, bei spärlichem Blutzufluss aber nur wenig Harn abgesondert wird. Wenn gewisse Nerven, welche in die Niere eintreten, durchschnitten werden, dann erweitern sich die Ästchen der Nierenarterie, dann kommt viel Blut in die Niere und es wird viel Harn abgesondert. Werden dieselben Nerven gereizt, so verengern sich die Blutgefäſse, es gelangt wenig Blut zur Niere, und die Absonderung des Harns wird spärlich oder hört ganz auf.

Und dies erklärt auch, wenigstens teilweise, wieso die Thätigkeit der Niere von dem Zustand der Haut beeinflusst werden kann. Da die Menge des Blutes im ganzen Körper zu allen Zeiten nahezu dieselbe ist, so muss, wenn viel Blut zur Haut geht, z. B. bei warmem Wetter und allemal, wenn die Haut in starker Thätigkeit ist und viel Schweiſs absondert, weniger Blut zur Niere gelangen und die Harnabsonderung muss gering sein. Wenn dagegen das Blut nur spärlichen Zutritt zur Haut findet, was bei kaltem Wetter der Fall ist, dann kommt mehr Blut zur Niere und die Harnabsonderung wird reichlich. So teilen sich also Haut und Nieren in die Arbeit, das überschüssige Wasser aus dem Körper los zu werden, und ergänzen sich gegenseitig.

12. Aber, wie gesagt, die Harnabsonderung beruht nicht allein auf einem Filtrierprozess in den MALPIGHI'schen Kapseln. Die Harnkanälchen sind mit Epithelien ausgekleidet, und die Epithelzellen, namentlich die der gewundenen Kanälchen, sind sekretorische Zellen. Das will sagen, sie besitzen die Fähigkeit, auf eine uns allerdings noch unverständliche Weise aus dem Blute, welches durch die die Kanälchen umspinnenden Kapillaren flieſst, oder, richtiger gesagt, aus dem Plasma, welches aus diesen Kapillaren ausschwitzt und die Zellen an ihrem Grunde umspült, gewisse Stoffe aufzunehmen und sie teils unverändert, zum Teil aber nach erheblichen chemischen Veränderungen in die Hohlräume der Harnkanälchen zu ergieſsen. Wie wir gesehen haben, gelangt das Blut, nachdem es den Glomerulus verlassen und dort einige Stoffe abgegeben hat, welche bestimmt sind, Bestandteile des Harns zu werden, zu den die gewundenen Kanälchen umspinnenden Kapillaren und wird dort der weiteren Einwirkung der Epithelzellen eben dieser Kanälchen unter-

worfen, wobei das aus den Kapillaren ausschwitzende Plasma die Vermittelung zwischen dem Blut in den Kapillaren und den Zellen selbst übernimmt.

Es giebt Beweise dafür, dass viele der wichtigsten Harnbestandteile, Harnstoff, Harnsäure u. a. auf diese Weise von den Epithelzellen der Harnkanälchen abgesondert und nicht einfach in den MALPIGHI'schen Kapseln abfiltriert werden.

Die Harnabsonderung beruht also auf einem zweifachen Vorgang. Ein grofser Teil des Wassers und mit ihm wahrscheinlich ein Teil der anorganischen leichtlöslichen Salze nehmen ihren Weg durch den Glomerulus; der Harnstoff aber, die Farbstoffe und sehr viele andere seiner Bestandteile gelangen in die Harnkanälchen durch eine eigentümliche Wirkung der Epithelzellen. Und einige dieser Bestandteile werden sogar erst in den Zellen erzeugt, da sie im Blute selbst gar nicht vorkommen.

13. Dass die Haut eine Quelle fortdauernden Verlustes für das Blut ist, kann auf verschiedene Weise bewiesen werden. Wenn der ganze Körper mit Ausnahme des Kopfes oder auch nur ein Glied eines Mannes in einen Gummisack, der mit Luft angefüllt ist, eingeschlossen wird, so wird man finden, dass diese Luft Veränderungen unterliegt, welche ähnlicher Art sind wie jene, welche bei der Luft, die durch die Lungen geatmet wird, stattfinden. Das heifst, die Luft verliert Sauerstoff und gewinnt Kohlensäure; sie nimmt ziemlich viel Wasserdampf auf, welcher sich auf den Wänden des Sackes niederschlägt und durch ein passend angebrachtes Abflussrohr abgezogen werden kann.

Unter gewöhnlichen Umständen erscheint kein flüssiges Wasser auf der Oberfläche der Körperbedeckung; man hat deshalb dem Vorgang den Namen unmerkliche Ausdunstung *(perspiratio insensibilis)* gegeben. Aber wenn eine starke Muskelanstrengung gemacht wird, oder auch bei manchen Arten von geistiger Erregung, oder wenn der Körper heifser und feuchter Luft ausgesetzt wird, dann wird die Ausdunstung wahrnehmbar; das heifst, sie erscheint in Form von zerstreuten Tropfen auf der Oberfläche.

14. Die Menge von Schweifs oder der wahrnehmbaren Ausdunstung wechselt aufserordentlich, je nach der Temperatur und anderen Bedingungen der Luft, und je nach dem Zu-

stande des Blutes und Nervensystemes. Man nimmt als allgemeine Regel an, dass die Menge Wasser, die von der Haut abgesondert wird, doppelt so grofs ist als diejenige, die in derselben Zeit von den Lungen ausgeschieden wird. Die Menge von Kohlensäure beträgt nicht über ein Dreifsigstel oder ein Vierzigstel von derjenigen, die in den Lungen ausgeschieden wird. Dass auch Harnstoff oder andere stickstoffhaltige Bestandteile durch die Haut abgeschieden werden, wird von einigen angenommen, doch kann seine Menge im normalen Zustande nur äufserst gering sein, während sie bei gewissen Krankheitszuständen, namentlich wenn die Thätigkeit der Nieren behindert ist, gröfser werden kann.

Normaler, reiner Schweifs, wie er von den Schweifsdrüsen abgesondert wird, reagiert alkalisch. Aber der von der Haut aufgesammelte ist immer mit den fettigen Absonderungsstoffen der Talgdrüsen vermischt und dann häufig sauer. Aufserdem sind ihm Schuppen von den äufseren Schichten der Epidermis, welche fortwährend abgestofsen werden, beigemengt.

15. Wenn man den Vorgang zergliedert, durch welchen die Ausdunstung von der Körperoberfläche erfolgt, so muss man sich zuerst daran erinnern, dass die Haut, selbst wenn sie nicht mit drüsenartigen Organen versehen wäre, doch stets als eine mäfsig dicke, durchdringliche Membran, die zwischen einer heifsen Flüssigkeit, dem Blute, und der Luft liegt, Veranlassung zur Wasserverdunstung geben müsste. In den heifsen Klimaten ist gewöhnlich die Luft weit entfernt, vollständig mit Wasserdampf gesättigt zu sein, und in gemäfsigtem Klima hört sie auf so gesättigt zu sein in dem Augenblicke, wo sie mit der Haut in Berührung kommt, deren Temperatur gewöhnlich zehn bis zwanzig und mehr Grade über ihrer eigenen ist.

Eine Schweins- oder Rindsblase weist keine sichtbaren Poren auf, aber wenn sie mit Wasser gefüllt in die Luft gehängt wird, so wird das Wasser nach und nach durch die Wände der Blase durchdringen und von dieser durch Verdunstung verschwinden. Nun ist in bezug auf das Blut die Haut eine solche Blase voll heifser Flüssigkeit.

Daher muss Ausdunstung bis zu einem gewissen Grade immer stattfinden durch die Substanz der Oberhaut hindurch; aber der Betrag dieser Dunstung kann nicht genau angegeben

werden, weil eine zweite und sehr wichtige Quelle der Ausdunstung in den sogenannten Schweifsdrüsen vorhanden ist.

16. Über den ganzen Körper verbreitet zeigt die Oberhaut aufserordentlich kleine Öffnungen, die Enden von die Epidermis oder Oberhaut durchsetzenden Kanälen, und jeder die unmittelbare Verlängerung einer aufserordentlich kleinen Röhre, welche gewöhnlich 0,08 mm im Durchmesser und etwa 6—7 mm Länge hat und in der eigentlichen Haut (Lederhaut) eingelagert ist. Jede Röhre ist mit einem Epithelium, welches sich in die Epidermis fortsetzt, ausgekleidet (vgl. Fig. 32). Die Röhre spaltet sich zuweilen, aber ob einzeln oder verzweigt, ihr inneres Ende oder ihre Enden sind blind und zu einer Art Knäuel aufgewickelt, welches mit einem Maschenwerke von Haargefäfsen durchflochten ist (Fig. 31 A, und 33).

Das Blut in diesen Haargefäfsen ist daher von dem Hohlraum der Schweifsdrüse nur durch die dünnen Wände der Haargefäfse und diejenigen der Drüsenröhre und seinem Epithelium, welche zusammengenommen nur ein sehr dünnes Häutchen bilden, getrennt; und die Anordnung ist, obwohl im einzelnen verschieden, im Prinzipe jener ähnlich, welche in den Nieren obwaltet. In den letzteren bildet das Gefäfs einen Knäuel innerhalb der MALPIGHI'schen Kapsel, welche das Ende einer Röhre ist. Hier windet sich die Schweifsröhre um und zwischen die Gefäfse. In beiden Fällen wird dasselbe Ergebnis erzielt — das Blut einer breiten, verhältnismäfsig freien Ober-

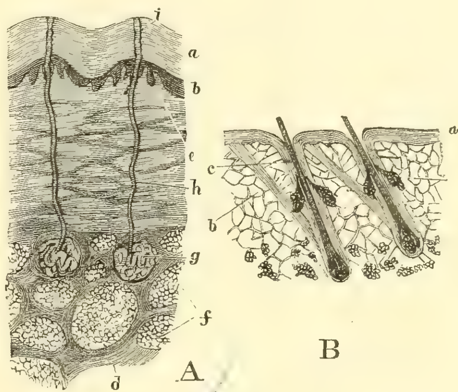


Fig. 31.

A. **Querschnitt der Haut mit Schweifsdrüsen.** *a* Epidermis oder Oberhaut; *b* tiefes Lager derselben, das *Rete Malpighii*; *e, d* Dermis oder eigentliche Haut, auch Lederhaut, *cutis*, genannt; *f* Fettzellen; *g* Drüsenknäuel einer Schweifsdrüse; *h* ihr Ausführungsgang; *i* ihre Öffnung an der Hautoberfläche.

B. **Ein Hautschnitt mit Haarwurzeln und Talgdrüsen.** *b* Muskel der Haarscheide *c*.

fläche auszusetzen, nach welcher gewisse Teile seines Inhaltes durchschwitzen. In den Schweifsdrüsen giebt es aber keine Vorrichtung, welche man mit einem Filter vergleichen könnte: es scheint vielmehr, dass die gesamte Menge des Schweifses durch die sekretorische Wirkung der Drüsenzellen aus dem Blut in den Drüsenhohlraum übergeführt wird.

Die Zahl dieser Drüsen wechselt in den verschiedenen Teilen des Körpers. Es sind deren am wenigsten im Rücken und Nacken, wo ihre Zahl nicht über sechzig auf den Quadratcentimeter beträgt. Sie sind zahlreicher auf der Haut des Handtellers und der Sohle, wo ihre Öffnungen den auf der Haut sichtbaren Furchen folgen, und wo ihre Zahl bis zu drei- bis vierhundertfünfzig auf den Quadratcentimeter sich belaufen kann. Nach oberflächlicher Schätzung enthält wahrscheinlich die ganze Haut nicht weniger als zwischen zwei und einer viertel bis zu zwei und einer halben Million dieser

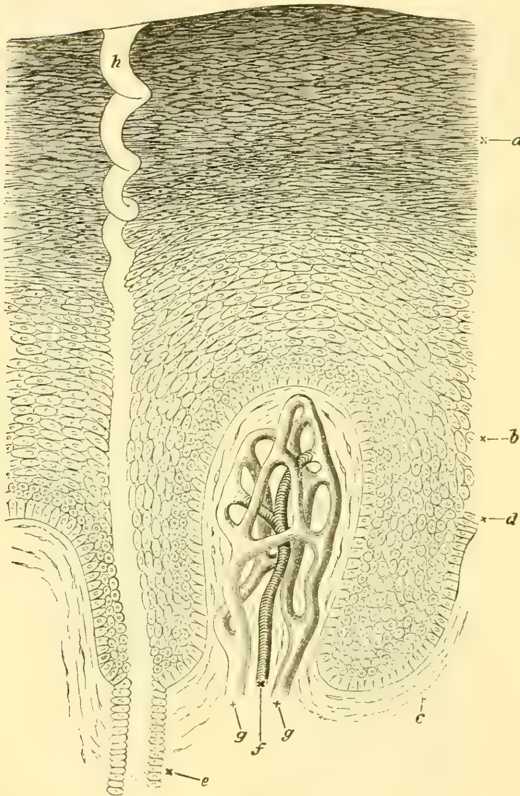


Fig. 32.

Ein Teil des in Fig. 31 abgebildeten Querschnittes, stärker vergröfsert, etwas schematisch gehalten. *a* Verhornte Epidermis; *b* Rete Malpighii. *d* unterste Schicht der Epidermiszellen; *e* mit diesen zusammenhängende Zellschicht, welche das Schweifskanälchen auskleidet; *h* korkzieherförmig gewundener Ausführungsgang der Schweifsdrüse; rechts von diesem erhebt sich die Dermis in Form einer Papille. Innerhalb derselben liegt das Kapillarnetz einer kleinen Arterie (*f*), und der aus ihm entspringenden kleinen Venen (*g*).

Röhrchen, welche daher zusammen eine sehr grofse Absonderungskraft besitzen müssen.

17. Die Schweifsdrüsen stehen sehr unter dem Einflusse des Nervensystemes. Dies ist nicht nur durch die wohlbekannten Wirkungen geistiger Erregung bewiesen, die manchmal die Schweifsabsonderung unterdrückt und andere Male das Hervorströmen des Schweifses in grofser Menge verursacht, sondern ist auch zum Gegenstande eines direkten Versuches gemacht worden. Es giebt gewisse Tiere, wie z. B. das Pferd, welche sehr leicht schwitzen. Wenn der sympathische Nerv an der einen Seite des Halses bei einem Pferde durchschnitten wird, so wird dadurch dieselbe Seite des Kopfes stärker mit Blut gefüllt und seine Temperatur steigt (vgl. Vorl. II, § 24), und zugleich strömt auf der ganzen so veränderten Seite der Schweifs in grofser Menge hervor. Wenn man dasjenige Ende des durchschnittenen Nerven, welches in Verbindung mit den Gefäfsen ist, reizt, so ziehen sich die Muskelwände der letzteren, in welchen sich der Nerv verteilt, zusammen, die starke Blutanfüllung hört auf und mit ihr die Schweifsabsonderung. Aber nicht nur in dieser mittelbaren Weise können die Nerven auf die Schweifsabsonderung einwirken. Es giebt auch Nervenfasern, welche durch ihre Erregung unmittelbar die Schweifssekretion hervorrufen, wie man am besten an den unbehaarten Zehenballen der Katzenpfoten sehen kann. Es handelt sich in diesem Falle um eine unmittelbare Wirkung der Nerven auf die Schweifsdrüsen, wie wir sie auch bei anderen Drüsen, besonders den Speicheldrüsen kennen lernen werden. Man hat die betreffenden Nerven deshalb auch als Schweifsnerven bezeichnet.

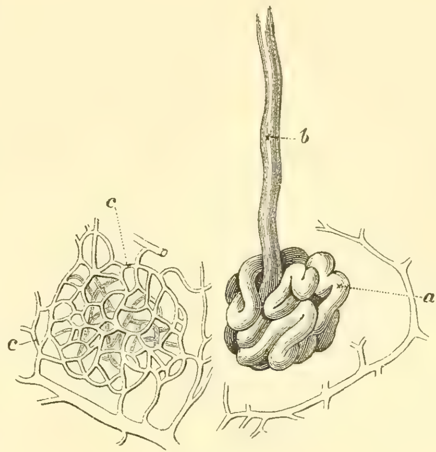


Fig. 33.

Knäuelförmiges blindes Ende einer Schweifsdrüse. *a* Der Knäuel; *b* der Ausführungsgang; *c* das Kapillarnetz, innerhalb dessen der Drüsenknäuel liegt.

18. Der Betrag an Stoffen, welcher unter gewissen Umständen

durch Schweifsabsonderung verloren gehen kann, ist sehr bedeutend. Hitze mit schwerer Arbeit vereinigt können das Gewicht eines Mannes um 1 bis 1,5 kg in der Stunde vermindern, nur allein durch die Hautausdunstung; und da man einigen Grund hat anzunehmen, dass die Menge der festen Stoffe, welche durch den Schweifs aus dem Blute ausgeschieden werden, sich nicht mit dem Anwachsen der Schweifsabsonderung in demselben Verhältnisse verringert, so kann die Menge fester Stoffe, welche durch starkes Schwitzen ausgesondert wird, recht grofs sein.

Die Verschiedenheit zwischen dem Blute, welches von der Haut kommt, und jenem, welches zur Haut geht, kann nur nach der Natur der Substanzen, welche an die Hautabsonderung abgegeben werden, bestimmt werden; aber so viel steht fest, arterielles Blut wird in der Haut nicht in venöses verwandelt.

19. Es wird jetzt lehrreich sein, die drei grofsen Organe, welche wir soeben beschrieben haben — Lungen, Nieren und Haut — genauer untereinander zu vergleichen, als dies in der ersten Vorlesung (§ 23) geschehen ist.

In letzter anatomischer Analyse besteht jedes dieser Organe aus einer feuchten tierischen Haut, welche das Blut von der Atmosphäre trennt.

Wasser, Kohlensäure und feste Stoffe wandern aus dem Blute durch die tierische Membran hindurch nach aufsen in jedem der drei Organe und stellen deren Absonderungs- oder Aussonderungsstoffe dar; aber die drei Organe unterscheiden sich untereinander durch die Mengen, in welchen sie diese drei Bestandteile der Ausscheidung abgeben, und das Verhältnis dieser Mengen zu einander.

Dem Gewichte nach ist Wasser der überwiegende Auswurfsstoff in allen dreien; am meisten feste Stoffe werden durch die Nieren abgesondert, am meisten gasförmige durch die Lungen.

Die Haut teilt die Natur beider, der Lungen sowohl wie der Nieren, indem sie Sauerstoff absorbiert und Kohlensäure und Wasser ausdunstet wie die ersteren, während sie organische und salzartige Stoffe in gelöster Form abgiebt wie die letzteren; aber die Haut hat mehr Ähnlichkeit mit den Nieren als mit den Lungen. Wenn daher die freie Thätigkeit der Haut unterbrochen wird, so wird ihre Thätigkeit gewöhnlich von den Nieren übernommen und umgekehrt. Wenn die Absonderung

der Haut bei heiſsem Wetter zunimmt, so vermindert sich diejenige der Nieren, und das Gegenteil wird bei kaltem Wetter beobachtet.

Diese Fähigkeit der gegenseitigen Ergänzung reicht jedoch nicht weit; denn wenn die Nieren zerstört werden, oder ihre Thätigkeit unterbrochen wird, so erfolgt Tod, so thätig auch die Haut sein mag. Und andererseits, wenn die Haut mit einem undurchdringlichen Firnis überzogen wird, so fällt die Körpertemperatur plötzlich und Tod tritt ein, trotzdem Lungen und Nieren thätig geblieben sind. Doch wird dieser Tod nicht etwa durch die Unterdrückung der Hautabsonderung bewirkt. Vielmehr ist die Ursache des Todes in diesen Fällen in dem vermehrten Wärmeverluste zu suchen, da nachgewiesenermaſsen die Gefäſse der Haut dabei erweitert werden, und die Haut mehr Wärme abgiebt als gewöhnlich. Daher bleiben die gefirnisten Tiere am Leben, wenn man sie in einen stark geheizten Raum bringt.

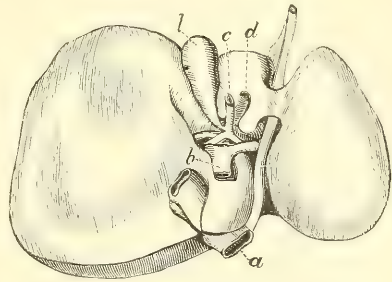


Fig. 34.

Die Leber, von unten gesehen. *a* Hohlvene; *b* Pfortader; *c* Gallengang; *d* Leberarterie; *l* Gallenblase.

20. Die Leber ist eine fortwährende Quelle sowohl von Verlust wie auch in einem gewissen Sinne von Gewinn für das Blut, welches durch sie hindurch geht. Sie verursacht Verlust, weil sie eine eigentümliche Flüssigkeit, die Galle, aus dem Blute ausscheidet und dieselbe in den Darm ergieſst. Auch in anderer Weise noch ist die Leber eine Quelle des Verlustes für das Blut, denn sie entzieht demselben, während es durch sie hindurchflieſst, Stoffe, aus denen sie eine Substanz namens Glykogen bereitet und manchmal in groſsen, manchmal in kleinen Mengen in ihren Zellen aufspeichert. Doch ist dieser Verlust wohl immer nur ein zeitweiliger; denn dieses Glykogen geht wahrscheinlich innerhalb der Leber wieder in eine Art von Zucker (Leberzucker oder Glukose, mit dem Traubenzucker übereinstimmend) über und wird entweder in dieser oder in einer anderen Form wieder vom Blute aus der Leber fortgespült. In dieser Beziehung würde also die Leber für das Blut nicht sowohl absolut einen Verlust

oder Gewinn an Substanz verursachen, sondern nur die Beschaffenheit desselben verändern.

Die Leber ist das gröſste drüsige Organ im Körper; sie wiegt gewöhnlich 1500 bis 1700 grm. Sie ist ein breites, dunkles, braunrotes Organ, welches an der rechten Seite des Körpers liegt, unmittelbar unter dem Zwerchfelle, mit welchem seine obere Fläche in Berührung ist, während die untere Fläche die Därme und die rechte Niere berührt.

Die Leber ist mit einem Überzuge des Bauchfelles bekleidet, welcher sie an ihrem Platze erhält. Sie ist von oben nach unten plattgedrückt und oben, wo sie sich an die Krümmung der unteren Fläche des Zwerchfelles anlegt, konvex und glatt. An ihrer unteren Fläche ist sie platt und unregelmäſsig, am hinteren Rande dick, ihre vordere Kante aber ist scharf und dünn. —

Von unten betrachtet, wie in Fig. 34, sieht man die untere Hohlvene *a* durch einen Einschnitt an der hinteren Kante der Leber gehen, da, wo sie aus der Bauchhöhle in den Brustkasten übergeht. Bei *b* sieht man den Stamm der Pfortader, wie er sich in die Hauptzweige verteilt, welche in dieses Organ eindringen und sich in dessen Substanz verzweigen. Bei *d* kommt die Leberarterie fast direkt aus der Aorta, verzweigt sich gleichfalls, tritt in die Leber ein und verteilt sich in ihr. Bei *c* ist der einzelne Stamm des Gallenganges, welcher die Galle, die ihm durch seine rechten und linken Zweige aus der Leber zugeführt worden ist, wegführt. In den Gallengang mündend, sieht man den Ausführungsgang eines weiten ovalen Sackes *l*, der Gallenblase. Der Gallengang ist enger als die Arterie und die Arterie enger als die Pfortader.

Wenn man die Zweige der Arterie, der Pfortader und des Gallenganges bis in die Substanz der Leber hinein verfolgt, so wird man finden, dass sie mit einander verlaufen und sich dann verzweigen und verteilen, indem sie immer enger werden. Zuletzt endigen die Pfortader und die Leberarterie in Haargefäſsen, welche wie ein Netzwerk die kleinsten sichtbaren Unterabteilungen der Lebersubstanz durchdringen — vieleckige Massen von 2,5 mm oder weniger im Durchmesser, welche Lobuli oder Läppchen genannt werden. Jedes Läppchen sitzt mit seiner Grundfläche auf einer der Verzweigungen der groſsen Vene — der Lebervene — und das Blut der Haargefäſse dieses Läppchens ergieſst

sich in diese Vene durch eine kleine Abzugsvene, Intralobularvene genannt, welche im Mittelpunkte des Läppchens gelegen ist und seine Basis durchbohrt. Das venöse Blut der Pfortader und das arterielle Blut der Leberarterie gelangen an die Oberfläche der Läppchen durch die letzten Verzweigungen dieser Vene und Arterie, mischen sich in den Haargefäfsen jedes Läppchens und werden fortgeschafft durch die Intralobularvene, welche ihren Inhalt in eine der Verzweigungen der Lebervene ergiefst. Diese Verzweigungen vereinigen sich und bilden immer gröfsere Stämme, welche endlich an den hinteren Rand der Leber gelangen und sich zuletzt in die untere Hohlvene ergiefsen, wo dieselbe dicht an diesem Teile des Organes nach oben geht.

So ist also das Blut, welches die Leber durchfliefst, eine Mischung von arteriellem und venösem Blute; das erstere wird durch die Leberarterie unmittelbar aus der Aorta herbeigeführt, das letztere durch die Pfortader aus den Haargefäfsen des Magens, der Eingeweide, der Bauchspeicheldrüse und der Milz.

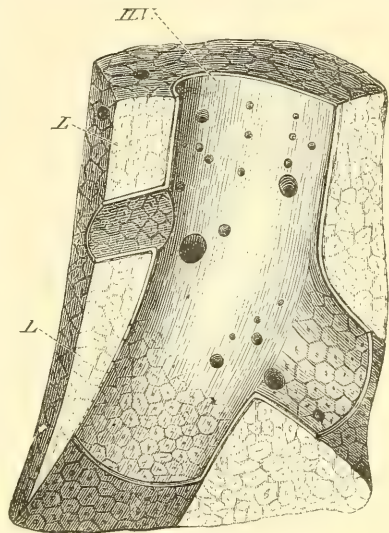


Fig. 35.

Ein Stück Leber, an welchem man die Lebervene (*HV*) sieht, mit den Leberläppchen (*L*), welche auf den Wänden der ersteren aufsitzen und ihre intralobularen Venen in sie einmünden lassen.

In den Läppchen selbst sind alle Maschen der Blutgefäfse mit Leberzellen ausgefüllt. Dies sind vielseitige kleine Körperchen von ungefähr 0,025 mm im Durchmesser, in ihrem Innern mit einem Kerne versehen, und öfters sind gröfsere oder kleinere Körnchen von Fett in ihrer Substanz verteilt (Fig. 37 B, a). In diesen Leberzellen liegen die wirksamen Kräfte der Leber.

21. Die von den Leberzellen ausgeübte Thätigkeit der Leber ist doppelter Art.

Erstens sind die Leberzellen fortwährend beschäftigt, die Galle zu bereiten, eine sehr zusammengesetzte Flüssigkeit, welche

in die soeben erwähnten feinen Gallengänge ergossen wird und von da in die Verzweigungen des Lebergallengangs *(ductus hepaticus)* gelangt. Durch diesen fliefst die Galle in den Dünndarm oder, in den Zwischenzeiten, wenn die Verdauung nicht im Gange ist, durch den Blasengang *(ductus cysticus)* in die Gallenblase und sammelt sich dort an. Die Stoffe, aus denen die Galle bereitet wird, führt das Blut den Leberzellen zu; daraus folgt, dass die Gallenbildung für das Blut mit einem Verlust verbunden ist.

22. Die Gesamtmenge der Galle, welche in vierundzwanzig Stunden ausgeschieden wird, ist schwankend, beträgt aber wahrscheinlich 1 kg oder noch etwas mehr. Sie ist eine goldgelbe, neutrale oder schwach alkalische Flüssigkeit von aufserordentlich bitterem Geschmacke, zusammengesetzt aus Wasser mit zwischen siebzehn Prozent bis zur Hälfte dieser Menge fester Stoffe in Lösung. Die festen Bestandteile bestehen zum gröfsten Teil aus einer zusammengesetzten Masse, welche man krystallinisch abscheiden kann; aber diese scheinbar gleichartige Masse stellt in Wahrheit ein Gemenge zweier an Natron gebundener Säuren, der Glykocholsäure, welche Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthält, und der Taurocholsäure, welche aufser diesen Elementen noch eine erhebliche Menge Schwefel enthält, dar. Aufser den Natronverbindungen dieser beiden Säuren (den Gallensalzen, wie man sie wohl auch zuweilen nennt), enthält die Galle noch einen bemerkenswerten Stoff, der aussieht wie ein Fett, aber seiner Natur nach kein Fettkörper ist, das krystallisierbare

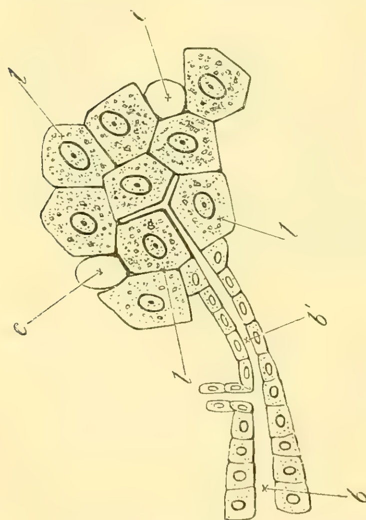


Fig. 36.

Endigung eines Gallenganges an dem Rande eines Läppchens (etwas schematisch). *b* kleiner Gallengang, welcher sich bei *b'* noch mehr verengt; das niedere, flache Epithel desselben macht zuletzt plötzlich den Leberzellen Platz, während die Höhlung des Ganges sich als enger Kanal zwischen den letzteren fortsetzt. *l* Leberzellen; *c* querdurchschnittene Blutkapillaren.

Cholesterin, und einen oder mehrere eigentümliche Farbstoffe, welche wahrscheinlich dem Haemoglobin des Blutes verwandt sind, sowie eine gewisse Menge anorganischer Salze.

23. Von diesen Bestandteilen der Galle kann man die wesentlichsten, nämlich die Gallensäuren und die Farbstoffe, nicht in dem Blute, welches in die Leber eintritt, entdecken. Sie müssen also in der Leber gebildet werden. Wie dies geschieht, ist noch nicht genauer bekannt. Wir wissen nicht, ob in dem zuströmenden Blut etwa schon Vorstufen jener Stoffe enthalten seien, welche in der Leber nur noch einer geringen Veränderung bedürfen, oder ob die Gallenbestandteile ganz und gar innerhalb der Leber aus den allgemeinen Bestandteilen des Blutes bereitet werden, welche zu anderen

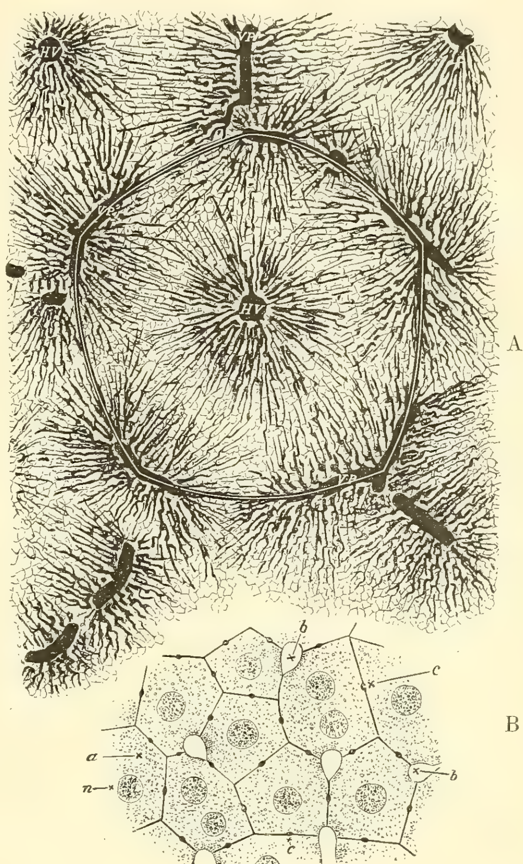


Fig. 37.

A. **Schnitt durch eine Leber, deren Gefäfse injiziert sind, etwa 15—20 mal vergröfsert.** Die weifse Linie umgrenzt ein Leberläppchen. *VP* Zweige der Pfortader, welche sich in Kapillaren auflösen, die alle nach der Mitte konvergieren und in die Intralobularvene (*HV*), einen Zweig der Lebervene, einmünden. Die Konturen der Leberzellen sind als ein feines Netzwerk überall im ganzen Leberläppchen sichtbar.

B. **Ein Teil des Läppchens, sehr stark vergröfsert.** *a* Leberzelle; *n* Kern derselben (zuweilen enthält eine Zelle zwei Kerne); *b* Querschnitt eines Kapillargefäfses; *c* kleinste Gallengänge zwischen den Leberzellen, durch Injektion einer gefärbten Masse sichtbar gemacht.

Organen ebenso wie zu der Leber gelangen. Die in die Galle übertretenden anorganischen Salze hingegen und das Cholesterin kommen schon im Blute der Pfortader vor, werden also von den Leberzellen, wie es scheint, nur zugleich mit dem Wasser angezogen und in die Gallengänge übergeleitet.

24. Neben diesem stetigen Übergang von Stoffen aus dem Blut in die Galle findet aber innerhalb der Leber noch ein anderer Vorgang statt, welcher nicht ausgesprochenermaſsen mit einem Verlust, aber ebensowenig mit einem Gewinn für das Blut verbunden ist, da er darin besteht, Stoffe aus den Blutbestandteilen zu formen und in den Leberzellen aufzuspeichern, die jedoch früher oder später wieder in anderer Form ins Blut zurückkehren.

Wie wir noch genauer auseinandersetzen werden, ist das Pfortaderblut nach jeder Mahlzeit reichlich beladen mit Stoffen, welche durch die Vorgänge der Verdauung im Darmkanal entstanden sind. Wenn diese Stoffe mit dem Blut in die Leber gelangen, so werden einige von ihnen von den Leberzellen aufgenommen und, in veränderter Form, in denselben abgelagert. Die Verdauungsprodukte erfahren demnach in der Leber eine erneute Umformung, welche einige als eine zweite Verdauung bezeichnet haben. Daraus folgt, dass in dem Blut, während es die Leber durchströmt, ganz bedeutende Veränderungen vor sich gehen, und dass das Blut der Lebervene, namentlich in einer gewissen Zeit nach der Aufnahme von Nahrung, erheblich von dem Blut der Pfortader abweichen muss.

Die hierbei im Blut vor sich gehenden Veränderungen sind sicherlich sehr mannigfaltiger Art, aber nur zum geringsten Teil bekannt. Nur eine derselben ist etwas genauer erforscht, und ist einer genaueren Betrachtung würdig.

Man hat gefunden, dass die Leber eines wohlgenährten Tieres, wenn man sie unmittelbar nach dem Tode untersucht, in reichlicher Menge einen Stoff enthält, welcher in seinen Eigenschaften der pflanzlichen Stärke sehr nahe steht und ebenso zusammengesetzt ist wie diese, nämlich aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff in denselben Mengenverhältnissen wie die Stärke. Dieser Substanz, welche man durch geeignete Methoden aus der Leber ausziehen und in reinem Zustande in Form eines weiſsen Pulvers darstellen kann, hat man den Namen G l y k o g e n gegeben.

Wie wir noch sehen werden, kann Stärke durch geeignete Methoden in Dextrin und einen Zucker (Dextrose oder Glukose) umgewandelt werden. Dasselbe gilt von diesem Glykogen. Wenn man nun die Leber eines gut gefütterten Tieres nicht sofort nach dem Tode untersucht, sondern erst in der Leiche oder ausserhalb derselben einige Stunden liegen lässt, dann findet man, dass ein Teil des Glykogens verschwunden und durch eine entsprechende Menge von Zucker ersetzt ist. Es scheint, dass in der Leber etwas vorhanden ist, das Glykogen in Zucker zu verwandeln vermag; und diese Umwandlung findet insbesondere dann leicht statt, wenn man die Leber ungefähr auf der Temperatur des Blutes erhält.

Untersucht man dagegen die Leber eines Tieres, welches mehrere Tage gefastet hat, auf gleiche Weise, so findet man nur wenig Glykogen in ihr, und wenn man sie bei Blutwärme liegen lässt, so entsteht auch nur wenig Zucker. Wir können hieraus schliefsen, dass die Leber des gutgenährten Tieres aus den Stoffen, welche von der Nahrung stammen und mit dem Pfortaderblut ihr zugeführt wurden, das Glykogen gebildet und aufgespeichert hat, während dies beim hungernden Tier nicht hat geschehen können. Untersucht man die Leber des gutgenährten Tieres mikroskopisch unter Beobachtung gewisser Mafsregeln, so kann man auch das Glykogen innerhalb der Leberzellen sehen; die Leber des hungernden Tieres hingegen zeigt bei gleicher Behandlung kein Glykogen.

Nahrung, welche Stärke oder Zucker enthält, ist am besten geeignet, die Aufspeicherung von Glykogen in der Leber zu veranlassen. Etwas Glykogen tritt zwar auch in der Leber auf, wenn die Tiere nur mit Eiweifskörpern gefüttert werden, aber viel weniger als bei Fütterung mit Stärke oder Zucker.

Die Leberzellen können also, wie es scheint, auch aus Eiweifskörpern Glykogen bereiten und aufspeichern, leichter und reichlicher aber aus Zucker. Denn, wie wir noch sehen werden, alle Stärke der Nahrung wird im Darmkanal in Zucker umgewandelt und kommt in dieser Form zur Leber.

Das in der Leber aufgespeicherte Glykogen aber wird, wie wir annehmen dürfen, nach und nach in dem Mafse, wie es gebraucht wird, wieder in Zucker zurückverwandelt und gelangt in dieser Form in die Lebervene und damit in alle Körperteile.

Die Glykogenbildung kann daher angesehen werden als eine Einrichtung, vermöge deren die Leber bei Überfluss von Zucker im Blut, wie er nach einer stärkereichen Nahrung eintritt, den Überschuss in Form von Glykogen aufspeichert, um ihn später in den Zeiten zwischen der Nahrungsaufnahme, auf Kosten des aufgespeicherten Materials in Form von Zucker dem Blute gleichsam tropfenweise wiederzugeben. Einen Verlust erleidet das Blut somit nur vorübergehend, nicht wirklich, ebensowenig als ein Verlust entsteht, wenn man eine Geldsumme in einer Bank deponiert, um sie in kleinen Posten je nach Bedarf wieder zurückzunehmen.

Vielleicht kommen ähnliche Veränderungen des Blutes bei seinem Durchgange durch die Leber auch noch in Bezug auf andere seiner Bestandteile vor.

25. Wir müssen nun zunächst die Hauptquellen des andauernden Gewinnes für das Blut in Betrachtung ziehen, und in erster Reihe die Quellen des Gewinnes an Stoffen.

Die Lungen und die Haut sind, wie wir gesehen haben, zwei von den Hauptkanälen, durch welche der Körper flüssige und gasige Substanz verliert, sie sind aber auch die einzigen Vermittler, durch welche eine der wichtigsten Substanzen zur Erhaltung des Lebens, der Sauerstoff, in das Blut eingeführt wird. Es ist schon angedeutet worden, dass der Sauerstoff, welcher durch die Lungen in das Blut eingeht, in der Regel die ausgegebene Kohlensäure etwas an Volum übertrifft.

Die absolute Menge Sauerstoff, welcher auf diese Art in vierundzwanzig Stunden aufgenommen wird, kann man auf etwa 1650 grm oder 460 l schätzen (vgl. Vorl. VI, § 2).

Wie viel durch die Haut des Menschen aufgenommen wird, ist nicht genau bekannt; sie ist aber jedenfalls gering. Bei einigen niederen Tieren, wie z. B. beim Frosche, spielt die Haut eine wichtigere Rolle bei der Atmung.

26. Das lymphatische System ist schon erwähnt worden als Quelle der Zufuhr einer Flüssigkeit zum Blute, welche im allgemeinen nur als der Überschuss der aus den Blutgefäfsen in die Gewebe ausgetretenen erscheint; doch führen, wie wir sehen werden, die Chylus- oder Milchsaftgefäfse in Zwischenräumen auch wirklichen Zuschuss von neuem Stoffe zu. Es ist sehr

wahrscheinlich, dass die vielen Lymphdrüsen einige Veränderungen der durch sie fließenden Flüssigkeit bewirken, insbesondere die Zahl der Körperchen in der Lymphe vermehren.

Nichts sicheres ist bekannt über die Funktionen gewisser Körper, welche gewöhnlich als Drüsen ohne Ausführungsgänge bezeichnet werden, aber in ihrem Baue sehr von gewöhnlichen absondernden Drüsen abweichen, auch mit diesen und untereinander durchaus nicht gleichartig sind. Dahin gehören die Schilddrüse, welche am Halse unterhalb des Kehlkopfes liegt, ein Organ, welches, wenn es durch Krankheit vergrößsert ist, den sogenannten Kropf hervorbringt; ferner die Brustdrüse, an der Basis des Herzens gelegen, welche bei Kindern am größsten ist und nach und nach bei Erwachsenen und alten Personen ganz verschwindet; und die Nebennieren, welche über den Nieren liegen.

27. Wir sind ebenso im Unklaren in bezug auf die Thätigkeit des großsen Eingeweides, Milz genannt, welches auf der linken Seite des Magens in der Bauchhöhle liegt (Fig. 38). Es ist ein länglicher, flacher, roter Körper, reichlich mit Blut versehen durch eine Arterie, Milzarterie genannt, welche fast unmittelbar aus der Aorta kommt. Das Blut, welches durch die Milz gegangen ist, sammelt sich in der Milzvene und gelangt von dieser durch die Pfortader in die Leber.

Ein Durchschnitt der Milz zeigt eine dunkelrote schwammige Masse, übersäet mit ganz kleinen weißlichen Punkten. Jedes dieser letzteren ist der Durchschnitt eines kugelförmigen Körperchens, Milzkörperchen genannt, welche in der Substanz der Milz verstreut sind und aus einer festen Zusammenfügung von außerordentlich kleinen Körperchen bestehen, ähnlich den weißen Körperchen des Blutes, von einem Haargefäßnetzwerke durchzogen, welches gespeist wird von einem kleinen Zweige der Milzarterie. Der dunkelrote Teil der Milz, in welchem diese Körperchen eingebettet sind, besteht aus faserigem und elastischem Gewebe, reichlich untermischt mit glatten Muskelfasern und zarten Gefäßräumen, welche die Maschen des faserigen Balkennetzwerkes ausfüllen. In diesen weiten Maschenräumen bewegt sich das die Milz durchströmende Blut.

Die Elastizität des Milzgewebes erlaubt dem Organe, sich

leicht auszudehnen, und befähigt es, nach der Ausdehnung wieder zu der ursprünglichen Gröfse zurückzukehren. Die Gröfse der Milz scheint sich je nach dem Zustande der Baucheingeweide zu verändern, da sie ihre gröfste Ausdehnung ungefähr sechs Stunden nach einer reichlichen Mahlzeit erreicht und zu ihrem kleinsten Umfange sechs oder sieben Stunden später zurückkehrt. wenn nicht neue Zufuhr von Nahrung stattfindet.

Man hat gefunden, dass das Blut der Milzvene verhältnismäfsig weniger rote Körperchen aber mehr weifse Körperchen enthält, als dasjenige der Milzarterie, und man hat vermutet. dass die Milz einer jener Teile des Körper-Haushaltes ist. wo die weifsen Blutkörperchen erzeugt werden und wo gleichzeitig rote Blutkörperchen zu Grunde gehen.

28. Wir haben gesehen, dass an der Oberhaut und in den Luftwegen des Atmungsapparates fortwährend Wärme abgegeben wird; und alles, was aus dem Körper geht, nimmt in ähnlicher Weise eine gewisse Menge Wärme mit. Aufserdem ist die Oberfläche des Körpers viel mehr der Abkühlung ausgesetzt als sein Inneres. Dennoch erhält sich die Temperatur des Körpers sehr gleichmäfsig zu allen Zeiten und in allen Teilen innerhalb enger Grenzen und schwankt kaum über oder unter der Mitteltemperatur von 38° C.

Dieses ist die Folge dreier Bedingungen: — die erste ist die. dass Wärme fortwährend im Körper erzeugt wird.

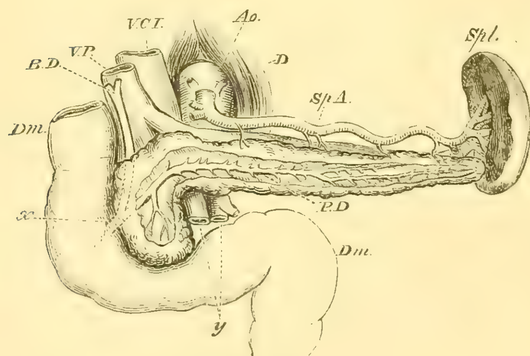


Fig. 38.

Die Milz (*Spl*) **mit der Milzarterie** (*Sp.A*). Unter dieser sieht man die Milzvene, welche zur Bildung der Pfortader (*VP*) beiträgt. *Ao* Aorta; *D* ein Pfeiler des Zwerchfelles; *PD* der Ausführungsgang der Bauchspeicheldrüse. welcher durch Aufschneiden der Drüsenmasse blofsgelegt ist; *Dm* der Zwölffingerdarm; *BD* der Gallengang, welcher sich mit dem Gange der Bauchspeicheldrüse zu einem gemeinschaftlichen Gange *x* vereinigt; *y* Darmgefäfse.

Die zweite, dass sie ebenso beständig vom Körper abgegeben wird. Die dritte, dass Erzeugung und Abgabe andauernder Regelung unterworfen sind.

Wärme wird erzeugt, so oft Oxydation (Verbrennung) stattfindet. Nun findet aber in allen Geweben fortwährend Oxydation statt. Die lebende Substanz der Gewebe, aufgebaut aus Eiweiſskörpern, Fetten und Kohlehydraten und selbst noch viel verwickelter in ihrem Bau als diese chemischen Substanzen, wird durch den Sauerstoff, welchen das Arterienblut zuführt, oxydiert und zerlegt in sauerstoffreichere, einfachere Verbindungen, welche schlieſslich in Form von Harnstoff, Kohlensäure und Wasser erscheinen. Diese Vorgänge finden in allen Teilen des Körpers statt, in welchen sich Lebensthätigkeit kund thut, in einigen Geweben und an einzelnen Stellen in höherem Grade als an anderen; am geringsten wahrscheinlich im Blute selbst. Daher ist jedes Haargefäſs und jede auſserhalb der Gefäſse liegende Gewebsmasche in Wahrheit ein Feuerherd, in welchem Wärme entwickelt wird im Verhältnisse zu der Lebhaftigkeit der chemischen Umsetzungen, welche darin stattfinden.

29. Aber da die Lebensthätigkeiten verschiedener Teile des Körpers und des ganzen Körpers zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden sind, und da einige Teile des Körpers so gelegen sind, dass sie ihre Wärme durch Strahlung und Leitung viel leichter verlieren als andere, so würde die Temperatur des Körpers sehr ungleich in seinen verschiedenen Teilen und zu verschiedenen Zeiten sein, wenn nicht Vorkehrungen zur Verteilung und Regelung der Wärme vorhanden wären.

Was für Oxydation in irgend einem Teile stattfinden mag, so erhöht sie die Temperatur des Blutes, welches zu dieser Zeit in diesem Teile ist, um einen verhältnismäſsigen Betrag. Aber dieses Blut wird schnell fortgeführt zu anderen Teilen des Körpers und teilt diesen schnell seine erhöhte Temperatur mit. Andererseits wird das Blut an der Oberfläche des Körpers durch Verdunstung, Leitung und Ausstrahlung abgekühlt; aber ehe sein Verlust an Wärme erheblich werden kann, wird es in die tiefer liegenden Organe zurückgeführt; und in diesen wird es durch Berührung sowohl als durch die oxydierenden Prozesse, welche dort stattfinden, von neuem erwärmt. So kann man die Blutgefäſse und ihren Inhalt einem Systeme Heiſswasserröhren ver-

gleichen, in welchen das heiſse Wasser fortwährend durch eine Pumpe in kreisender Bewegung erhalten wird. Jedoch wird es nicht durch einen groſsen Centralofen erwärmt, wie dies in unseren Häusern gewöhnlich der Fall ist, sondern gleichsam durch eine Menge ganz kleiner Gasbrenner, welche unter den Wasserröhren nicht gleichmäſsig verteilt sind, sondern hier mehr und dort weniger. Es ist klar, dass, trotzdem die Wärme, die einem Teile des Röhrensystemes mitgeteilt wird, gröſser sein mag als die in einem anderen Teile, die Temperatur des Wassers bei einer solchen Einrichtung doch überall fast vollkommen die gleiche sein kann, wenn es nur durch die Pumpe mit genügender Schnelligkeit bewegt wird.

30. Wenn ein solches System aus vollkommen geschlossenen Röhren zusammengesetzt wäre, so würde die Temperatur des Wassers vermittelst der Gasbrenner auf einen beliebigen Grad erhöht werden können. Andererseits könnte man sie zu irgend einem Grade erniedrigen, indem man einen gröſseren oder kleineren Teil der Röhren mit Wasser benetzt, welches frei verdunsten könnte, z. B. wenn man sie in feuchte Tücher einwickelte. Und je gröſser die auf diese Art verdunstete Wassermenge wäre, desto niedriger würde die Temperatur des ganzen Apparates sein.

Die Regulierung der Temperatur des menschlichen Körpers wird nach diesem Prinzipe ausgeführt. Die Gefäſse sind geschlossene Röhren, aber ein groſser Teil derselben ist in der Haut und in der Schleimhaut der Luftwege eingeschlossen, welche in physikalischem Sinne feuchte, der Luft ausgesetzte Umhüllungen sind. Die Verdunstung von diesen Flächen ist von weit gröſserem Einflusse auf die Regulierung der Temperatur des Blutes und folglich auf die des Körpers, als irgend ein anderer Umstand.

Um aber die Genauigkeit der Regulierung noch zu erhöhen, wird unter dem Einfluss des Nervensystems die Feuchtigkeit des Regulators selbst durch den Zustand der kleinen Gefäſse bestimmt. Die Schweiſsdrüsen sind so eingerichtet, dass sie zu gröſserer Thätigkeit angeregt werden durch Wärme und unthätig werden durch Kälte. Wenn der ganze Körper oder auch nur ein Teil desselben höherer Temperatur ausgesetzt wird, so bewirken die Nerven, dass eine gröſsere Menge von Schweiſs sich auf die Haut ergieſst; wenn die Temperatur sinkt, hören die Drüsen auf zu sezernieren. Dazu kommt noch, dass die Schweiſsdrüsen in ihrer

Thätigkeit unterstützt werden durch entsprechende Veränderungen der Blutgefäſse in der Haut. Wir haben gesehen (Vorl. II, § 23), dass die kleinen Arterien verengert und erweitert werden können, und dass diese Veränderungen von den sogenannten vasomotorischen Nerven abhängen. Nun zeigt es sich, dass unter der Einwirkung hoher Temperaturen die kleinen Arterien der Haut sich erweitern; dadurch werden auch die Kapillaren und kleinen Venen reichlicher mit Blut gefüllt und es gelangt aus den Kapillaren viel mehr Transsudat zu den Schweiſsdrüsen, so dass diese auch mehr Schweiſs absondern können. Wenn dagegen der Körper abgekühlt wird, so bewirkt das eine Verengerung der kleinen Arterien der Haut; es kommt weniger Blut und damit weniger Stoff zur Schweiſsbildung zu den Drüsen.

Also erfolgen bei Erhöhung der Temperatur zwei Dinge, beide veranlasst durch das Nervensystem. Erstens erweitern sich die Hautgefäſse, so dass weit mehr Blut durch die Haut strömt und dort abgekühlt wird. Und zweitens wird diese Abkühlung sehr befördert durch die vermehrte Wasserverdunstung infolge der erhöhten Thätigkeit der Schweiſsdrüsen, welche ihrerseits durch den vermehrten Blutzufluss sehr begünstigt wird. Wenn dagegen die Temperatur sinkt, kommt weniger Blut zur Haut und ein gröſserer Teil desselben strömt durch die inneren Organe, welche wärmer sind, und auſserdem lässt die Thätigkeit der Schweiſsdrüsen nach (was wiederum durch die geringere Blutzufuhr begünstigt wird); die Verdunstung wird also auch geringer und damit auch die Abkühlung des Blutes.

Daher kommt es, dass, so lange als die Oberfläche des Körpers frei transpiriert und die Luftwege oder Lungen genügend feucht sind, ein Mann ohne Nachteil für einige Zeit in einem Ofen, der so warm ist, dass Speisen darin zum Kochen kommen, verbleiben kann. Die Wärme der Luft wird dazu verwandt, den reichlich ergossenen Schweiſs in Dampf zu verwandeln, und die Temperatur des Blutes wird kaum erhöht.

31. Die hauptsächlichsten zeitweise thätigen Quellen des Verlustes für das Blut sind die Drüsen, welche im Prinzipe alle enge röhren- oder beutelförmige Einstülpungen der Schleimhaut oder der Oberhaut des Körpers sind, ausgekleidet mit einer Fortsetzung des Epitheliums oder der Epidermis. Bei den Lieberkühn'schen Drüsen, welche in auſserordentsich groſser

Anzahl in den Wänden des Dünndarmes liegen, ist jede Drüse nichts weiter als ein einfacher Blindsack der Schleimhaut, von der Form eines Reagensglases, wie es die Chemiker zu ihren Proben gebrauchen, dessen geschlossenes Ende der Aufsenfläche des Darmes zugekehrt und dessen offenes Ende an der inneren Fläche des Darmes liegt (Fig. 39, 1).

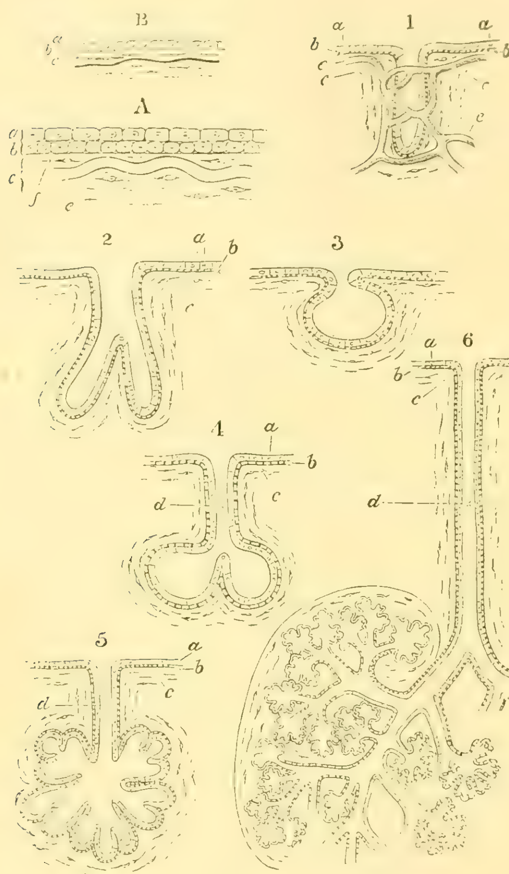


Fig. 39.

Schematische Darstellung des Baues der Drüsen. *A* Typischer Bau einer Schleimhaut: *a* oberes, *b* unteres Lager von Epithelzellen; *c* Dermis; *e* Blutgefäfs in derselben; *f* Bindegewebskörperchen. *B* Schleimhaut mit nur einschichtigem Epithel (*a*) und der sogenannten Grundmembran (*b*) zwischen dem Epithel und der Dermis (*c*). 1 Einfache tubulöse (röhrenförmige) Drüse; 2 tubulöse Drüse, an ihrem Grunde in zwei Zipfel geteilt (in dieser und den folgenden Figuren sind die Blutgefäfse nicht gezeichnet worden); 3 einfache sackförmige oder flaschenförmige Drüse; 4 geteilte sackförmige Drüse mit ihrem Ausführungsgange *d*; 5 mehrfach geteilte sackförmige Drüse; 6 Teil einer traubenförmigen oder acinösen Drüse (weitere Entwickelung von Nr. 5).

Eine schematische Darstellung der Drüsenformen ist in Fig. 39 gegeben. Aus ihr ergiebt sich, dass man alle Drüsen in zwei Gruppen einteilen kann: tubulöse und acinöse. Die einfachste Form der tubulösen Drüse wird durch die Lieberkühn'schen Drüsen dargestellt, die einfachste Form der acinösen durch die flaschenförmigen oder Balgdrüsen. Alle können als einfache Einstülpungen der Schleim-

haut (oder Oberhaut) angesehen werden, deren Epithel sich in die Drüsen fortsetzt und deren Ausführungsgang sowie den Grund der Drüse überzieht. Häufig aber zeigt sich, dass dieses Epithel im Grunde der Drüse sein Aussehen ändert und einen spezifischen Charakter annimmt. In vielen Fällen lässt sich nachweisen, dass dieses so veränderte Epithel der Sitz der eigentlichen, spezifischen Drüsenthätigkeit ist. Die aus dem reichlich die Drüse umspülenden Blute abgesonderten Stoffe werden in den Drüsenzellen chemisch verändert, so dass aus ihnen neue, spezifische Substanzen entstehen, welche im Blute selbst nicht enthalten waren.

Die Schweifsdrüsen der Haut sind, wie wir gesehen haben, gleichfalls einfache, blinde, röhrenähnliche Einstülpungen der Oberhaut, deren Enden aufgewickelt sind. Die Talgdrüsen, gewöhnlich mit den Haarbälgen verbunden, sind kürzer und ihre blinden Enden sind geteilt, so dass die Drüse in einen engen Hals und ein ausgedehnteres ausgebuchtetes Ende zerfällt (Fig. 39, 5). Der Hals, durch welchen die Drüse mit der freien Oberfläche in Verbindung steht, heifst Ausführungsgang. Ausgebildetere Drüsen entstehen durch die Verlängerung des Ausführungsganges in eine lange Röhre und durch wiederholte Teilungen des blinden Endes in eine Menge ähnlicher Röhren, von denen jede mit einer Erweiterung endet (Fig. 39, 6). Diese Erweiterungen mit ihren verzweigten Ausführungsgängen sehen einer Weintraube ziemlich ähnlich. Drüsen dieser Art heifsen traubenförmige oder acinöse Drüsen. Die Speicheldrüsen und die Bauchspeicheldrüse sind solche Drüsen.

Viele dieser Drüsen, wie die Speicheldrüsen, die Bauchspeicheldrüse (sowie die Schweifsdrüsen, die wir schon besprochen haben), sind nur thätig, wenn gewisse Eindrücke auf das Nervensystem einen besonderen Zustand der Drüse oder ihrer Gefäfse, oder beider verursachen.

So verursacht der Anblick oder der Geruch oder selbst nur der Gedanke an Speisen einen Speichelzufluss zum Munde; die vorher ruhige Drüse lässt plötzlich eine abgesonderte Flüssigkeit ausfliefsen, als Folge einer Veränderung im Zustande des Nervensystemes. Bei Tieren können die Speicheldrüsen zu starker Absonderung gebracht werden, indem man einen Nerv, der die Drüse und ihre Gefäfse versorgt, reizt. Es kann nachgewiesen

werden, dass dieser Erfolg durch unmittelbare Einwirkung der Nerven auf die Drüsenzellen zustande kommt. Der Vorgang ist dabei etwa folgender: Wie wir später (Vorl. VII) sehen werden, tritt in einer Nervenfaser, wenn sie an einem Punkte „gereizt“ wird, z. B. durch einen elektrischen Schlag, zunächst an der Reizungsstelle eine Veränderung in dem Zustand des Nerven ein. Diese Veränderung pflanzt sich innerhalb des Nerven von Teilchen zu Teilchen fort und stellt einen Vorgang dar, welchen wir als „Thätigkeit“ oder „Erregung“ (im Gegensatz zu dem Zustand der Ruhe) des Nerven bezeichnen. Wird der Nerv der Speicheldrüse in solcher Art erregt, so gelangt die Erregung schliefslich bis zu den Drüsenzellen und bewirkt Veränderungen im Zustand dieser Zellen, als deren Folge die Absonderung eintritt, durch welche eine gewisse Menge von Speichel aus der Drüse austritt und durch ihren Ausführungsgang abfliefst.

In ganz gleicher Weise wird, wie wir in Vorl. VII noch weiter auseinandersetzen werden, die Erregung des Nerven, falls dieser mit einem Muskel in Verbindung steht, bis zu diesem fortgepflanzt und hat Veränderungen im Zustand der Muskelfasern zur Folge. Diese Veränderungen sind zunächst chemische; es entsteht unter anderm Kohlensäure, und man könnte demnach, um den Vergleich mit der Drüse weiter zu führen, von einer Kohlensäuresekretion sprechen. Aber vermöge der eigentümlichen Eigenschaften der Muskelfasern sind die in ihnen vor sich gehenden chemischen Veränderungen zugleich mit Formänderungen verbunden. Der Muskel wird kürzer und dicker und kann dadurch Bewegungen veranlassen, während die Produkte seiner chemischen Veränderung in das Blut übertreten und an anderen Stellen zur Ausscheidung gelangen, weshalb man sie als Zersetzungsprodukte bezeichnet. In den Drüsenzellen tritt keine merkliche Formveränderung ein, die Produkte der chemischen Veränderung dagegen sind erheblich und wichtig und gehen nicht in das Blut über, sondern werden mit vielem Wasser in den Ausführungsgang der Drüse ergossen.

Bei den Speicheldrüsen wie bei den Schweifsdrüsen wird diese Wirkung der Nerven auf die Drüsenzellen wesentlich unterstützt dadurch, dass die Nervenerregung gleichzeitig eine Erweiterung der Gefäfse veranlasst und somit die reichliche Zu-

fuhr des Materials sichert, aus welchem die Drüse ihr Sekret bereitet.

Die Flüssigkeiten, welche aus den nur zeitweise thätigen Drüsen ausfliefsen, sind immer sehr arm an festen Bestandteilen und bestehen hauptsächlich aus Wasser. Diejenigen, welche nach der Oberfläche des Körpers ausfliefsen, gehen verloren; aber jene, welche in den Verdauungskanal ergossen werden, werden ohne Zweifel zum grofsen Teile wieder aufgesogen.

32. Eine andere wichtige, zeitweise thätige Quelle des Zuflusses von verbrauchten Stoffen zum Blute ist in den Muskeln gegeben, deren Zusammenziehung jedesmal von einem Übergange im Muskel entstandener Zersetzungsprodukte in das Blut begleitet wird. Auch während der Ruhe der Muskeln gehen freilich immer einige Zersetzungsprodukte aus ihnen ins Blut über; doch ist die Menge derselben dann nicht gröfser, zu Zeiten sogar geringer als die Menge der aus dem Blut in die Muskeln übertretenden Ernährungsstoffe. Bei der Thätigkeit jedoch wächst die Menge der Zersetzungsprodukte erheblich an. Dass ein grofser Teil dieser Auswurfsstoffe Kohlensäure ist, erhellt aus den Thatsachen, dass *a.* das Blut, welches einen thätigen Muskel verlässt, immer viel dunkler ist, als jenes, welches aus einem ruhenden Muskel kommt; und *b.* dass Muskelanstrengung sogleich die ausgeatmete Menge Kohlensäure aufserordentlich erhöht; aber ob der Verbrauch stickstoffhaltiger Stoffe unter diesen Umständen vergröfsert wird oder nicht, ist noch eine strittige Frage.

Man hatte früher angenommen, dass die Arbeitsleistung der Muskeln vorzugsweise durch die Verbrennung stickstoffhaltiger Stoffe zu stande komme, einfach aus dem Grunde, weil die Muskeln zum überwiegenden Teile aus solchen Stoffen bestehen. Aber dieser Schluss ist voreilig, wie aus dem Vergleiche mit der Dampfmaschine hervorgeht, welche aus Eisen und Messing besteht, während ihre Arbeitsleistung durch die Verbrennung von Kohle zu stande kommt. So wird auch die Arbeitsleistung der Muskeln durch Verbrennung kohlenstoffreicher Verbindungen bewirkt, und bei anstrengender Arbeit ist daher eine reichliche Zufuhr solcher Verbindungen (Zucker, Fette, Stärkemehl) in der Nahrung geboten. Wie aber bei der Dampfmaschine gleichzeitig die aus Metall bestehenden Maschinenteile abgenutzt werden, so geschieht auch in den Muskeln eine Umsetzung ihrer eiweifs-

artigen Bestandteile, und diese geben stickstoffhaltige Umsetzungsprodukte. Daher wird auch die Zufuhr eiweifsartiger Stoffe in der Nahrung nötig sein, um die Muskelmaschinen in gutem Zustande zu erhalten, und bei reichlicher Zufuhr derselben werden die Muskeln sich kräftig entwickeln und grofser Leistungen fähig werden, wenngleich diese Leistungen selbst nur durch den Verbrauch kohlenstoffreicher Stoffe in erheblicher Menge möglich sind. Hiermit ist in vollkommener Übereinstimmung, dass vorzugsweise die Pflanzenfresser zu grofsen, anhaltenden Muskelanstrengungen befähigt sind, obgleich ihre Nahrung arm an Eiweifskörpern, aber reich an Stärkemehl ist; dass die Fleischfresser hingegen, welche wenig Stärkemehl, Fette und Zucker geniefsen, zwar sehr mächtige Muskelapparate haben und deshalb ungeheurer plötzlicher Kraftanstrengungen fähig sind, zu andauernder, starker Arbeit aber durchaus nicht in demselben Mafse taugen.

SECHSTE VORLESUNG.

Die Ernährungsthätigkeit.

1. Die gröſste Quelle des Gewinnes für das Blut und, die Lungen ausgenommen, der einzige Kanal, durch welchen ganz neuer Stoff in diese Flüssigkeit eingeführt wird, ist der Verdauungskanal, dessen Gesamtthätigkeit das Geschäft der Ernährung ausmacht. Es wird nützlich sein, zuerst die Natur und die Art und Weise der Ausübung dieser Thätigkeit im allgemeinen zu betrachten, bevor wir die Einzelheiten untersuchen.

2. Ein Mensch nimmt täglich eine gewisse Menge fester und flüssiger Speise in der Form von Fleisch, Brot, Butter, Wasser und dergleichen in seinen Mund, und führt sie dadurch in seinen Verdauungskanal ein. Der Betrag chemisch trockener, fester Masse, welche auf diese Art in den Körper aufgenommen werden muss, wenn ein Mann von mittlerer Gröſse und Thätigkeit an Gewicht weder verlieren noch gewinnen soll, muss, wie man gefunden hat, ungefähr 520 grm sein. Auſserdem absorbiert sein Blut durch die Lungen ungefähr 650 grm Sauerstoffgas, macht zusammen fast 1200 grm täglichen Gewinn an trockener, fester und gasiger Masse.

3. Das Gewicht trockener, fester Masse, welche aus dem Verdauungskanal herausgeht, beträgt im Mittel nicht mehr als etwa ein Zehntel des Eingenommenen oder kaum 60 grm. Durch keinen anderen Kanal verlässt irgend eine schätzenswerte Menge fester Masse den Körper. Es folgt daraus, dass auſser den 650 grm Sauerstoff noch ungefähr 450 grm trockener fester Masse den Körper in anderer Form, entweder als Gas oder gelöst in den flüssigen Aussonderungen, durch Lungen, Haut und Nieren verlassen müssen. Da ferner die Zusammensetzung des

Körpers im allgemeinen ungeändert sich gleich bleibt, so folgt: entweder, dass die Grundbestandteile der in den Körper eingenommenen festen Massen gleich sein müssen mit jenen des Körpers selbst, oder dass im Verlaufe der Lebensprozesse die Nahrung allein zerstört wird, während die Substanz des Körpers selbst unverändert bleibt; oder endlich, dass sowohl das eine wie das andere stattfindet, dass die Nahrung also teils mit der verbrauchten Substanz des Körpers gleichbeschaffen ist und sie ersetzt, und teils von dieser Substanz verschieden ist und verbraucht wird, ohne sie zu ersetzen.

4. Als eine Thatsache steht fest, dass, abgesehen vom Wasser, alle Stoffe, welche als Nahrung eingenommen werden, unter eine von vier Rubriken sich bringen lassen. Sie sind entweder eiweifsartige, oder fettartige, oder stärkemehlartige, oder mineralische Stoffe. Was etwa von anderweitigen Stoffen mit der Nahrung aufgenommen wird, spielt keine nennenswerte Rolle bei dem Ernährungsprozesse, und wird meist unverändert wieder ausgeschieden.

Eiweifsartige Stoffe sind Verbindungen der vier Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, meistens noch mit etwas Schwefel und Phosphor verbunden. Unter diese Rubrik gehören: der Pflanzenkleber; das Albumin der Eier und des Blutserums; das Fibrin des Blutes; das Myosin, welches der Hauptbestandteil der Muskeln und des Fleisches ist, oder das aus ihm entstehende Syntonin; das Caseïn, der Hauptbestandteil des Käses, und einige andere, seltener vorkommende Stoffe.

Dagegen sind der Leim, welcher durch Kochen von Bindegewebe und Knorpelleim oder Chondrin, welches auf dieselbe Art aus Knorpel gewonnen wird, Glieder einer verwandten, aber in ihrer chemischen Beschaffenheit doch etwas abweichenden Gruppe, weshalb wir sie als eiweifsähnliche Körper bezeichnen wollen.

Die Fette sind aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt und enthalten mehr Wasserstoff als nötig wäre, um in Verbindung mit dem in ihnen enthaltenen Sauerstoffe Wasser zu bilden.

Alle Öle und pflanzlichen und tierischen Fettstoffe gehören in diese Abteilung.

Stärkemehlartige Stoffe oder Kohlehydrate sind Stoffe,

welche gleichfalls aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff allein bestehen. Aber sie enthalten nicht mehr Wasserstoff als gerade genügend ist, um mit ihrem Sauerstoffe Wasser zu bilden. Hierher gehören die Stoffe, welche als Stärke, Dextrin, Zucker- und Gummiarten bekannt sind.

Die mannigfaltigen Körper, welche zu diesen drei Gruppen von Nahrungsstoffen gehören, entstehen durch die Thätigkeit lebender Wesen, entweder von Tieren oder Pflanzen, und werden aus ihnen gewonnen oder beim Verzehren pflanzlicher oder tierischer Nahrung von uns aufgenommen. Deshalb kann man sie ganz passend organische Nahrungsstoffe nennen.

Nahrungsstoffe der vierten Klasse andererseits, oder Mineralien, sind ebensowohl aus der nichtlebenden als auch aus der lebenden Welt zu beschaffen. Zu ihnen gehören Wasser und Salze verschiedener Alkalien, Erden und Metalle. Zu diesen müsste man, genau genommen, noch den Sauerstoff hinzurechnen; aber da er nicht durch den Verdauungskanal aufgenommen wird, so kann er kaum unter die gewöhnlich angenommene Bedeutung des Wortes Nahrung einbegriffen werden.

5. Aus alledem geht also schliefslich hervor, dass die organischen Nahrungsstoffe entweder drei oder vier der Elemente: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthalten, und dass die unorganischen Nahrungsstoffe Wasser und Salze sind. Der menschliche Körper besteht aber gleichfalls im Grunde nur aus jenen vier Elementen und aufserdem aus Wasser und aus denselben Salzen, wie sie in der Nahrung gefunden werden.

Noch mehr als das: keine Substanz kann andauernd als Nahrung dienen — d. h. kann Verlust an Gewicht und Veränderung der allgemeinen Körperbeschaffenheit verhindern — wenn sie nicht einen gewissen Betrag an eiweifsartigen Körpern in der Form von Albumin, Fibrin, Myosin, Caseïn oder dgl. enthält. Während andererseits jede Substanz, welche irgend eine Eiweifsart in einer leicht in die Körpersäfte überführbaren Form enthält, andauernd als organischer Nahrungsstoff dienen kann.

Der menschliche Körper enthält, wie wir gesehen haben, eine grofse Menge Eiweifs in einer oder der anderen der vier Formen, welche wir aufgeführt haben; und daher ergiebt es sich als eine unumgängliche Bedingung, dass jede Substanz, welche

andauernd als Nahrungsmittel dienen soll, eine genügende Menge des wichtigsten und zusammengesetztesten der Bestandteile des Körpers fertig enthalten muss. Auch eine genügende Menge der mineralischen Bestandteile, von welchen die Rede war, muss in ihr enthalten sein. Ob sie Fette oder stärkemehlartige Stoffe oder beide enthält, oder ob sie frei von beiden ist, das ist für ihre Fähigkeit, das Leben zu erhalten und das Gewicht und die Zusammensetzung des Körpers unverändert zu lassen, nicht ebenso unbedingt erforderlich.

6. Die Notwendigkeit, fortwährend die Zufuhr von Eiweifsstoff zu erneuern, entsteht aus dem Umstande, dass die Absonderung des Harnstoffes aus dem Körper (und folglich der Verlust von Stickstoff) fortwährend stattfindet, ob der Körper ernährt wird oder nicht. Nun kann aber dieser stetige Verlust an Stickstoff nur in einer einzigen Form ersetzt werden, nämlich durch Zufuhr von Eiweifsstoffen. Wenn daher kein Eiweifs zugeführt wird, so muss der Körper notwendigerweise Mangel leiden, weil nichts in der Nahrung vorhanden ist, was den Stickstoff ersetzen könnte.

Andererseits kann, wenn Eiweifs zugeführt wird, keine unbedingte Notwendigkeit für andere als mineralische Nahrungsstoffe vorhanden sein, da Eiweifs Kohlenstoff und Wasserstoff in Menge enthält und daher ausreicht, um auch Ersatz für die anderen grofsen Verbrauchsprodukte, Kohlensäure und Wasser, zu gewähren.

In der That sind die schliefslichen Produkte der Oxydierung von Eiweifs: Kohlensäure, Wasser und Ammoniak oder Harnstoff; und diese sind, wie wir gesehen haben, auch die letzten Formen der verbrauchten Produkte des menschlichen Haushaltes.

7. Nach dem, was bisher gesagt worden ist, ist es leicht begreiflich, dass, ob ein Tier pflanzenfressend oder fleischfressend sei, es in dem Augenblicke anfängt zu verhungern, wo seine organischen Nahrungsstoffe entweder aus reinem Stärkemehl, oder aus Fett, oder aus einer Mischung beider bestehen. Es leidet an dem, was man Stickstoffaushungerung nennen kann, und es muss früher oder später sterben.

In diesem Falle und noch mehr in jenem, wo ein Tier vollständig der organischen Nahrung beraubt wird, ernährt sich der

Organismus, so lange, als er fortfährt zu leben, aus sich selbst. Im ersteren Falle werden alle jene Absonderungen, welche Stickstoff enthalten, im letzteren seine sämtlichen Verbrauchsprodukte auf Kosten seines eigenen Körpers gebildet; so dass also die Bemerkung ganz richtig ist, dass ein hungerndes Schaf ebensogut ein Fleischfresser ist wie ein Löwe.

8. Aber obgleich Eiweifs der wesentlichste Bestandteil der Nahrung ist und unter Umständen ganz allein genügen kann, den Körper zu erhalten, so ist es doch ein sehr unvorteilhaftes und nicht haushälterisches Nahrungsmittel.

Albumin, das als der Typus der Eiweifsstoffe angesehen werden kann, enthält ungefähr in 100 Gewichtsteilen 53 Teile Kohlenstoff und 15 Teile Stickstoff. Ein Mann, der nur von Eiweifs genährt werden sollte, würde daher ungefähr $3^1/_2$ Teile Kohlenstoff auf jeden Teil Stickstoff zu sich nehmen.

Aber es ist durch den Versuch festgestellt, dass ein gesunder, ausgewachsener Mann, der sein Gewicht und seine Wärme unverändert erhält, bei einem mäfsigen Grade von Arbeit 250 grm Kohlenstoff auf nur 20 grm Stickstoff verbraucht oder, roh ausgedrückt, d. h. nur ein Zwölftel bis ein Dreizehntel so viel Stickstoff als Kohlenstoff. Wenn er nun seine 250 grm Kohlenstoff aus dem Albumin erhalten soll, so muss er nahezu 500 grm dieser Substanz essen. Aber 500 grm Albumin enthalten 75 grm Stickstoff, also fast viermal so viel, als er gebraucht.

Um die Sache an einem anderen Beispiele klar zu machen, können wir sagen, dass 2 kgrm mageren Fleisches (welches gewöhnlich ein Viertel seines Gewichtes trockenen Eiweifsstoff enthält) nötig sind, um jene 250 grm Kohlenstoff zu liefern, während schon ein halbes Kilogramm nahezu die notwendigen 20 grm Stickstoff liefert.

Also muss ein Mann, der auf reine Eiweifskost angewiesen ist, eine ungeheure Menge davon essen. Dazu bedarf es nicht nur eines grofsen Betrages physiologischer Arbeit, um die Nahrung zu zerkleinern, und einen grofsen Aufwand an Kraft und Zeit, um sie aufzulösen und zu resorbieren, sondern es bürdet auch eine grosse Masse nutzloser Arbeit den Auswurfsorganen auf, welche sich des Stickstoffs entledigen müssen, von welchem drei Viertel, wie wir gesehen haben, vollständig überflüssig sind.

Unfruchtbare Arbeit muss ebenso im physiologischen wie im

politischen Haushalte vermieden werden; und es ist ganz gut möglich, dass ein Tier, das nur mit vollkommen nahrhafter Eiweifskost gefüttert wird, dennoch Hungers stirbt, wenn der Verlust an Kraft, welche für die verschiedenen zur Aufnahme des Eiweifses in die Körpersäfte notwendigen Vorgänge gebraucht wird, den Gewinn überwiegt, oder wenn die zu ihrer Vollendung erforderliche Zeit zu lang ist, um mit genügender Schnelligkeit den Verbrauch auszugleichen. Der Körper kommt unter diesen Bedingungen in die Lage eines Kaufmannes, der grofse Aufsenstände hat, aber sie nicht rechtzeitig eintreiben kann, um seine Gläubiger zu befriedigen.

9. Diese Betrachtungen zeigen, dass die ganz allgemeine Gewohnheit der Menschheit, eine gemischte Nahrung einzunehmen, in welcher Eiweifsstoffe entweder mit fett- oder mit stärkemehlartigen Stoffen oder mit beiden gemischt sind, physiologisch durchaus gerechtfertigt ist.

Man kann annehmen, dass Fettstoffe ungefähr achtzig Prozent Kohlenstoff enthalten, und stärkemehlartige ungefähr vierzig Prozent. Nun haben wir gesehen, dass genug Stickstoff in 500 grm mageren Fleisches ist, um den täglichen Verbrauch dieser Substanz in einem gesunden Manne zu ersetzen, und dass dieses Fleisch aufserdem etwa 65 grm Kohlenstoff enthält, also noch ein Deficit von 195 grm Kohlenstoff bestehen lässt. Rund 300 grm Fett oder 500 grm Zucker würden diese fehlende Menge Kohlenstoff ergänzen.

10. Verschiedene anscheinend einfache Nahrungsmittel stellen schon eine gemischte Kost in sich selbst dar. Fleisch, wie man es beim Schlächter erhält, enthält zwischen dreifsig bis fünfzig Prozent Fett. Brot andererseits enthält den eiweifsartigen Stoff Kleber und die stärkemehlartigen Stoffe Stärke und Zucker mit einer sehr geringen Menge Fett. Aber wegen des Verhältnisses, in welchem sie Eiweifsstoffe und die anderen Bestandteile enthalten, ist jedes dieser Nahrungsmittel für sich allein physiologisch nicht sehr ökonomisch. Sie werden es aber in Verbindung mit einander im Verhältnisse von ungefähr 200 zu 75; das heifst also: 1 kgr Brot auf 375 grm Fleisch würden eine vorzügliche Kost für einen Tag geben.*

* Es muss jedoch bemerkt werden, dass die chemische Zusammensetzung eines Nahrungsmittels für sich allein durchaus nicht entscheidend ist für seinen

11. Es ist ganz sicher, dass etwa neun Zehntel der trockenen, festen Nahrung, die in den Körper aufgenommen wird, ihn früher oder später in der Form von Kohlensäure, Wasser und Harnstoff (oder Harnsäure) wieder verlässt; und es ist ebenso gewiss, dass die Bestandteile, welche den Körper verlassen, mehr oxydiert sind als jene, welche in ihn eintreten, und dass aller durch die Lungen aufgenommene Sauerstoff in Form dieser sogenannten Zersetzungsprodukte fortgeht.

Die Zwischenstufen dieser Umwandlung sind jedoch keineswegs so klar. Es ist so gut als gewiss, dass alle Nahrungsstoffe, welche aus dem Darmkanal in das Blut gelangen, mögen sie Eiweifskörper, Fette oder Kohlehydrate sein, nur zum geringsten Teile innerhalb des Blutes selbst oxydiert werden. Der gröfste Teil derselben gelangt aus den Kapillaren in die Gewebe und wird erst innerhalb derselben oxydiert, wobei es freilich zweifelhaft gelassen werden muss, ob die Stoffe, bevor sie der Oxydation anheimfallen, erst zu Bestandteilen der eigentlichen, geformten, Gewebe werden müssen, oder ob diese Oxydation auch in dem sogenannten Gewebssaft, d. h. der aus den Kapillaren ausgetretenen, in den Lücken der Gewebselemente befindlichen Flüssigkeit stattfinden kann.

Infolge dieser Oxydationen erzeugt der Organismus einen entsprechenden Betrag von Energie, und zwar nicht nur diejenige Energie, welche er in Form von mechanischer Arbeit ausgiebt, sondern auch diejenige, welche er in Form von Wärme verliert. Es kann kein Zweifel darüber herrschen, dass die Oxydation der Körperbestandteile die einzige Quelle der tierischen Wärme ist. Zwar entsteht etwas Wärme auch durch Reibung und dergl. Aber die Bewegung, welche diese veranlasst, ist selbst

---

wirklichen Nährwert. Eine Substanz muss, um nahrhaft zu sein, nicht nur den einen oder anderen der oben erwähnten Nahrungsstoffe enthalten, sie muss ihn auch in einer verwertbaren, d. h. verdaulichen Form enthalten. Ein gut zubereitetes Stück Fleisch ist nahrhafter als eine gleiche Menge Erbsenbrei, welche ungefähr die gleiche Menge an Eiweifskörpern (hauptsächlich in Form des sogenannten Legumins) enthält, wie das Fleisch, weil letzteres verdaulicher ist und deshalb im Darmkanal besser ausgenützt wird. Ein Stückchen harten, trockenen Käses, das fast nur aus Eiweifskörper (Caseïn) besteht, kann den Darmkanal unverdaut passieren und hat dann gar keinen Nährwert, während dasselbe Stückchen, fein zerrieben und mit anderen Speisen gemischt genossen, vollkommen seinen Nährwert erfüllen kann.

nur eine Folge von Oxydationen, und die Wärmeproduktion hat dabei sozusagen nur auf einem Umwege stattgefunden. Alle Gewebe tragen zu dieser Wärmeproduktion bei, wenn auch in sehr verschiedenem Grade; die Muskeln liefern jedenfalls den gröſsten Teil derselben, da in ihnen die Oxydationen am lebhaftesten erfolgen.

12. Man hat die Nahrungsstoffe eingeteilt in Wärmeerzeuger und Gewebsbildner — wobei die stärkemehlartigen Stoffe und Fette die erste Klasse bilden, die Eiweiſsstoffe die letztere. Aber dies ist eine sehr irreleitende Einteilung, indem sie einerseits die Meinung einschlieſst, als ob die Oxydierung der Eiweiſsstoffe keine Wärme entwickele; und andererseits als ob stärkemehlartige Stoffe und Fette bei ihrer Oxydierung nur der Wärmeerzeugung dienten.

Eiweiſsstoffe sind unzweifelhaft Gewebsbildner, insofern als keine Gewebe ohne sie hervorgebracht werden können. Denn alle Gewebe enthalten Stickstoff, die einen mehr, die anderen weniger. Und da Eiweiſskörper die einzigen Nahrungsstoffe sind, welche dem Organismus Stickstoff zuführen, so müssen aus ihnen die Gewebe gebildet werden. Aber trotzdem haben wir Gründe anzunehmen, dass auch die Fette und Kohlehydrate an der Gewebsbildung sich beteiligen. Denn auch diese Stoffe kommen in den Geweben vor. Nun haben wir schon gesehen, dass bei der Muskelthätigkeit eine erhebliche Steigerung der Kohlensäureproduktion auftritt, während eine Steigerung der stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukte kaum nachweisbar ist (vgl. Vorl. V, § 32). Und wir haben daraus geschlossen, dass der nicht stickstoffhaltige Teil des Muskelgewebes bei der Thätigkeit in höherem Maſse verbraucht wird als der stickstoffhaltige, und dass deshalb zu seinem Ersatz stickstofflose Nahrungsstoffe, wie Fett oder Kohlehydrate, in der Nahrung Verwendung finden können.

Andererseits kann auch durch Oxydation stickstoffhaltiger Stoffe Wärme produziert werden. Und da diese Oxydation in der That fortwährend stattfindet, so muss ein Teil der vom Organismus produzierten Wärme auf Rechnung derselben kommen. Es besteht also in Wirklichkeit kein so scharfer Gegensatz zwischen den Gruppen der organischen Nahrungsstoffe. Alle drei sind Gewebsbildner ebensowohl als Wärmeerzeuger.

Wenn es überhaupt der Mühe wert ist, eine Einteilung der

organischen Nahrungsstoffe zu machen, so könnte man die wesentlichen Nahrungsstoffe (eiweiſsartige Körper) von den auſserwesentlichen (Fette und stärkeartige Stoffe) unterscheiden, von denen die ersteren ihrer Natur nach unter allen Umständen zum Leben notwendig sind, während die letzteren zwar sehr wichtig, aber doch insofern nicht unbedingt notwendig sind, als die in ihnen enthaltenen Elemente, nämlich Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, ja auch in den Eiweiſskörpern enthalten sind, also auch in dieser Form dem Körper zugeführt werden könnten, vorausgesetzt, dass die Verdauungsorgane die zur vollkommenen Erhaltung der Lebensprozesse nötige Menge auch verarbeiten und zur Resorption vorbereiten könnten.

13. Da nun also alle Nahrungsstoffe entweder Eiweiſsstoffe, Fette, Stärkemehl oder mineralische Stoffe, entweder rein oder mit anderen Substanzen gemischt, sind, so ist der ganze Zweck des Verdauungsapparates, diese Eiweiſsstoffe u. s. w. von den etwa vorhandenen nicht nährenden Beimischungen zu trennen und sie entweder in einen Zustand der Lösung oder auſserordentlich feiner Verteilung zu bringen, damit sie durch die zarten Gewebe, welche die Wände des Verdauungskanales bilden, ihren Weg finden können. Zu diesem Behufe wird die Nahrung in den Mund genommen, zerkaut, mit Speichel vermischt und verschluckt, einer Verdauung im Magen unterworfen, geht dann in den Darm über und erleidet eine Einwirkung von seiten der Absonderungen der zu diesem Eingeweide gehörigen Drüsen; und schlieſslich nach einer mehr oder weniger vollständigen Ausziehung der nährenden Bestandteile verlässt der Rest, mit gewissen Absonderungen der Eingeweide vermischt, den Körper als Kot oder Fäces.

Die Mundhöhle ist eine Kammer mit einem festen Dache, das aus dem harten Gaumen (Fig. 40, l) gebildet wird, und einem beweglichen Boden, aus dem Unterkiefer bestehend und der Zunge (*k*), welche den Raum zwischen den beiden Armen des Unterkiefers ausfüllt. Auf den Rändern des Ober- und Unterkiefers stehen in einem Kranze die Zähne, beim Erwachsenen zweiunddreiſsig an der Zahl, sechzehn oben und sechzehn unten, und auſserhalb dieser wird die Umgrenzung der Mundhöhle an den Seiten durch die Wangen und vorn durch die Lippen vervollständigt.

Wenn der Mund geschlossen ist, kommt der Zungenrücken in dichte Berührung mit dem Gaumen; und wo der harte Gaumen endet, ist der Zusammenhang zwischen dem Munde und dem hinteren Teile des Schlundes noch ferner unterbrochen durch eine Art fleischigen Vorhanges, der weiche Gaumen oder das Gaumensegel genannt, dessen Mitte sich in eine Verlängerung, das Zäpfchen oder die Uvula (*f*) fortsetzt, während seine Seitenteile die Seitenwände des Schlundes durch je zwei muskulöse Pfeiler begrenzen, welche die Schlundpfeiler oder die Gaumenbögen genannt werden. Zwischen diesen liegt auf jeder Seite je eine Drüse ohne Ausführungsgang, ihrer Form wegen Mandel genannt.

Das Gaumensegel mit seinem Zäpfchen kommt unten in Berührung mit dem oberen Teile des Zungenrückens und mit einer Art knorpeligen, Lid-ähnlichen Vorrichtung, welche mit dem Zungengrunde verbunden ist, dem Kehldeckel.

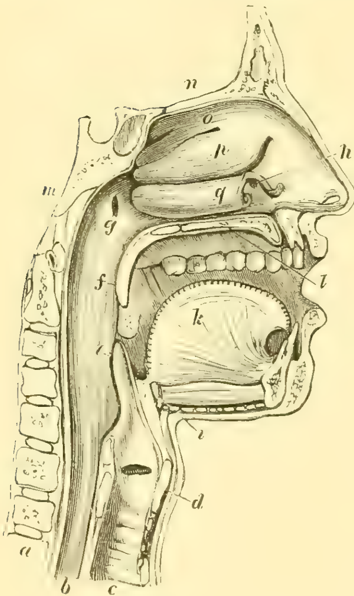


Fig. 40.

Hinter dieser so abgegrenzten Mundhöhle liegt die Höhlung des Schlundkopfes, welche man als einen trichterähnlichen Sack mit muskulösen Wänden beschreiben kann; die oberen Ränder seines schrägen weiten Endes sind an der Basis der Hirnschale befestigt, während seine Seitenwände sich in die Seiten und seine untere Wand in den Boden des Mundes fortsetzen. Das enge Ende des Schlundkopfes geht in die Schlund- oder

Senkrechter Schnitt durch Mund und Nase, etwas nach links von der Mittellinie durchgeführt. *a* Die Wirbelsäule; *b* der Schlund und die Speiseröhre; *c* die Luftröhre; *d* der Schildknorpel des Kehlkopfes; *e* der Kehldeckel; *f* das Zäpfchen; *g* Öffnung der linken Eustachi'schen Röhre; *h* Öffnung des linken Thränenkanals; *i* das Zungenbein; *k* die Zunge; *l* der harte Gaumen; *m*, *n* die Schädelbasis; *o*, *p*, *q* die obere, mittlere und untere Nasenmuschel. Die Buchstaben *g*, *f*, *e* stehen im Schlundkopfe.

Speiseröhre (Oesophagus, *b*) über, eine muskulöse Röhre, welche den Zugang zum Magen vermittelt.

Es giebt nicht weniger als sechs getrennte Öffnungen an der Vorderseite des Schlundkopfes, vier paarige und zwei einzelne in der Mitte. Die beiden Paare sind: an der Vorderseite die hinteren Öffnungen der Nasenhöhlen, und an den Seiten, dicht an diesen, die Öffnungen der Eustachi'schen Röhren (Fig. 40, *g*). Die beiden einzelnen Öffnungen sind die hintere Öffnung des Mundes zwischen dem Gaumensegel und dem Kehldeckel, und hinter dem Kehldeckel die obere Ausmündung des Atmungsrohrs, der Zugang zum Kehlkopf.

14. Die Schleimhaut, welche den Mund und den Schlundkopf auskleidet, ist mit aufserordentlich kleinen Drüsen, den Munddrüsen besetzt; aber die grofsen Drüsen, aus welchen die Mundhöhle ihre hauptsächlichen Absonderungen erhält, sind die drei Paare von Speicheldrüsen, welche wir schon erwähnt haben, die Ohr- oder Wangendrüse *(Parotis)*, die Unterkieferdrüse *(Gl. submaxillaris)* und die Unterzungendrüse *(Gl. sublingualis)*. Diese sondern den allergröfsten Teil des Speichels ab (Fig. 41).

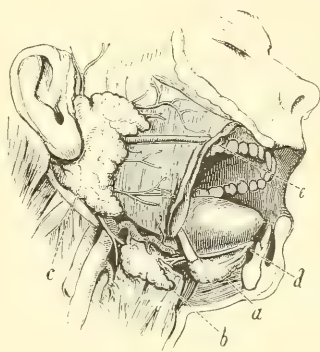


Fig. 41.

Die rechte Seite des Gesichtes, nach Ablösung der Wangenhaut, die Speicheldrüsen zeigend. *a* Die Unterzungendrüse; *b* die Unterkieferdrüse; die Ausführungsgänge beider münden gemeinschaftlich bei *d* am Boden der Mundhöhle unter der Zunge; *c* die Ohrspeicheldrüse, deren Ausführungsgang an der Seite der Wange bei *e* sich öffnet.

Jede der beiden Ohrspeicheldrüsen ist dicht vor dem Ohre gelegen und ihr Ausführungsgang verläuft nach vorn die Wange entlang, bis er sich im Innern des Mundes, gegenüber dem zweiten oberen Backzahne öffnet (Fig. 41 bei e).

Die Unterkiefer- und die Unterzungendrüsen liegen zwischen dem Unterkiefer und dem Boden des Mundes, die Unterkieferdrüse weiter nach hinten als die Unterzungendrüse. Ihre Gänge öffnen sich im Boden des Mundes unter der Zungenspitze (Fig. 41 bei d). Die Absonderung dieser Speicheldrüsen vermischt sich mit jener der kleinen Munddrüsen und bildet den

Speichel — eine Flüssigkeit, welche, obgleich dünn und wässerig, eine kleine Menge tierischen Stoffes enthält, Ptyalin genannt, welcher gewisse sehr eigentümliche Eigenschaften hat. Es hat keine Wirkung weder auf eiweifsartige Nahrungsstoffe noch auf Fette, aber wenn es mit Stärke vermischt und auf einer mäfsig warmen Temperatur erhalten wird, so wandelt es diese Stärke in Traubenzucker um. Die Wichtigkeit dieser Wirkung wird begreiflich, wenn man bedenkt, dass Stärke unlöslich und daher als solche nutzlos als Nahrungsstoff ist, während Zucker aufserordentlich löslich und daher leicht aus dem Darmkanal in das Blut übertreten kann.

15. Jeder der zweiunddreifsig Zähne, welche schon erwähnt worden sind, besteht aus einer Krone, welche aus dem Zahnfleische hervorragt und einer oder mehrerer Wurzeln, welche in den Zahnhöhlen oder sogenannten Alveolen der Kiefer eingebettet sind.

Die acht Zähne auf den beiden Seiten einer und derselben Kinnlade sind ganz gleich gebaut, während die acht Zähne, die einander gegenüber stehen und oben und unten auf einander beifsen, obwohl in der Art einander gleich, sich doch in Kleinigkeiten von einander unterscheiden.

Die beiden Zähne jeder Abteilung, welche zunächst der Mittellinie an der Vorderseite der Kinnlade liegen, haben breite aber scharfe und meifselähnliche Ränder. Sie werden daher Schneidezähne genannt. Der zunächstkommende Zahn ist ein Zahn mit einer mehr kegelförmigen und spitzen Krone. Er entspricht dem grofsen Fangzahne des Hundes und wird Hunds- oder Augenzahn genannt. Die nächsten zwei Zähne haben breitere Kronen mit zwei Spitzen auf jeder Krone, eine auf der Innenseite und eine auf der Aufsenseite, woher sie die zweispitzigen oder zuweilen falsche Mahlzähne genannt werden. Alle diese Zähne haben gewöhnlich jeder eine Wurzel mit Ausnahme der zweispitzigen, deren Wurzel mehr oder weniger vollständig in zwei Zipfel geteilt sein kann. Die übrigen Zähne haben jeder zwei oder drei Wurzeln, und ihre Kronen sind viel breiter. Da sie die Stoffe, welche zwischen sie kommen, zermalmen und zermahlen, werden sie die wahren Mahlzähne oder ihrer Stellung wegen Backzähne genannt. In der oberen Kinnlade zeigen ihre Kronen vier Spitzen an den vier Ecken

und eine diagonale Furche, welche zwei derselben verbindet. In der unteren Kinnlade sind sie fünfspitzig, indem zwei Spitzen an der inneren und drei an der äufseren Seite liegen. (Über die Milchzähne der Kinder vgl. Vorl. XII, §§ 32 und 33.)

Die Muskeln der soeben beschriebenen Teile sind derartig verteilt, dass die untere Kinnlade herunter gezogen werden kann, so dass dadurch der Mund geöffnet und die Zähne getrennt werden; oder in die Höhe gezogen derart, dass die Zähne an einander gebracht werden; oder endlich schräg von einer Seite zur anderen bewegt werden, so dass die Oberflächen der Backzähne und die Ränder der Schneidezähne übereinander gleiten. Die Muskeln, welche die hebenden und gleitenden Bewegungen ausüben, haben eine grofse Kraft, so dass die mahlenden und schneidenden Wirkungen der Zähne sehr mächtig sein können. Entsprechend dem Drucke, welchem sie widerstehen müssen, ist die äufsere Schicht der Zahnkronen von grofser Härte, indem sie aus der Schmelzsubstanz oder Emaille gebildet ist, der härtesten Masse des Körpers, welche thatsächlich so dicht und hart ist, dass sie mit Stahl beim Schlagen Funken giebt (vgl. Vorl. XII, § 30 ff). Aber ungeachtet ihrer aufserordentlichen Härte wird sie im Alter, und bei Wilden, die von grober Nahrung leben, schon früher abgenutzt.

16. Wenn feste Nahrung in den Mund genommen wird, so wird dieselbe von den Zähnen zerschnitten und zermahlen, und Teilchen, die nach der Aufsenseite der Kronen fallen, werden durch die Muskelzusammenziehungen der Wangen und Lippen wieder zwischen dieselben geschoben, während jene, welche auf die innere Seite fallen, von der Zunge zurückgeschoben werden, bis alles vollständig zerrieben ist.

Während des Kauens ergiefsen die Speicheldrüsen ihre Absonderung in grofser Menge, und der Speichel vermischt sich mit der Nahrung, welche auf diese Art nicht nur von der Speichelflüssigkeit, sondern auch von der Luft, die in Form kleiner Blasen im Speichel enthalten ist, durchdrungen wird.

Wenn die Speise genügend zermalmt ist, sammelt sie sich in Speichel eingehüllt in einer Masse, dem Bissen, welcher auf dem Zungenrücken liegt und nach hinten an die Öffnung geschoben wird, welche in den Schlundkopf führt. Durch diese wird er hindurchgepresst, indem der weiche Gaumen gehoben

wird und die Gaumenbögen sich einander nähern, während sich die Zunge nach rückwärts bewegt, den Bissen nach hinten drängt, zu gleicher Zeit den Kehldeckel nach hinten und unten über die Stimmritze beugt und dadurch eine Brücke bildet, über welche der Bissen die Öffnung, welche in den Kehlkopf führt, ohne Gefahr hineinzufallen, passieren kann. Während so der Kehldeckel den Gang der Speisemasse von unten her leitet und verhindert, dass sie in die Luftröhre hineingerät, dient der weiche Gaumen ihr auf der oberen Seite als Führung, hält sie von der Nasenhöhle ab und leitet sie nach hinten und abwärts in den tieferen Teil des muskulösen, trichterförmigen Schlundkopfes. Durch diesen wird der Bissen sofort gefasst und festgehalten, und indem die Muskelfasern oberhalb des Bissens sich zusammenziehen, während die unterhalb gelegenen vergleichsweise schlaff sind, wird er schnell in die Speiseröhre hinabgeschoben. Durch die Muskelwände dieser Röhre wird er in ähnlicher Weise gepackt und abwärts geschoben, bis er in den Magen gelangt.

17. Getränk wird ganz auf dieselbe Weise eingenommen. Es fällt nicht den Schlundkopf und die Speiseröhre hinunter, sondern jeder Schluck wird erfasst und hinabgeleitet. Daher kommt es, dass Gaukler, auf dem Kopfe stehend, trinken können, und dass ein Pferd oder Ochse trinkt, trotzdem der Hals niedriger steht als der Magen; Dinge, die unmöglich wären, wenn die Flüssigkeit einfach den Schlund hinab in die Magenhöhle flösse.

Während dieser Vorgänge des Kauens, Mengens mit Speichel und Schluckens wird die Speise erstens in einen gröberen oder feineren Brei verwandelt; zweitens werden die Stoffe, die sie gelöst enthält, durch das Wasser des Speichels noch mehr verdünnt; drittens findet eine Umwandlung der etwa in ihr enthaltenen Stärke in Zucker statt durch die Einwirkung des dem Speichel eigentümlichen Bestandteiles Ptyalin.

18. Der Magen stellt, wie der Schlund, eine Röhre dar, deren muskulöse Wände aus glatten Muskelfasern gebildet sind, und welche mit einer Schleimhaut ausgekleidet ist; aber er unterscheidet sich in vielen Beziehungen vom Schlunde. Erstens ist seine Höhlung viel geräumiger, und sein linkes Ende geht in eine Erweiterung über, welche der Grund des Magens *(Fundus)* oder, weil sie der gleich zu erwähnenden Cardia zunächst liegt,

auch Cardiacalerweiterung genannt wird (Fig. 42, b). Die Öffnung des Schlundes in den Magen, die Herzöffnung, Cardia genannt, weil sie in der Nähe des Herzens (griechisch: *καρδία*) gelegen ist, liegt daher fast in der Mitte der ganzen Länge des Organes, welches eine lange konvexe grofse Krümmung an dem vorderen oder unteren Rande, und eine kurze, konkave kleine Krümmung an dem hinteren oder oberen Rande hat. Gegen sein rechtes Ende hin verengert sich der Magen und, wo er in den Darm übergeht, sind seine Muskelfasern so angeordnet, dass sie eine Art Schliefsmuskel um die Verbindungsöffnung herum bilden. Diese wird der Pförtner oder Pylorus genannt (Fig. 42, d).

Die Schleimhaut, welche die Magenwand bekleidet, enthält oder besteht sozusagen aus einer Menge kleiner, einfacher Drüsen, welche sich auf ihrer Oberfläche öffnen. Dieselben sind einfache, lange, röhrenförmige Drüsen, aber nicht alle gleich, indem an einigen Stellen mehr als an anderen solche vorkommen, deren blinde Enden verzweigt und gewunden sind (Fig. 43). Jede dieser Drüsen ist von einem Epithel ausgekleidet, dessen Zellen nicht alle unter einander gleich sind. Sie werden Pepsindrüsen genannt, und sondern, wenn Speise in den Magen eintritt, eine säuerliche Flüssigkeit, den Magensaft, ab.

Wenn der Magen leer ist, so ist seine Schleimhaut blass und kaum als feucht zu bezeichnen. Ihre kleinen Arterien sind dann sehr eng, und es strömt nur wenig Blut durch sie. Sobald Nahrung in den Magen kommt, erweitern sich diese Arterien infolge der Nervenreizung. Deshalb strömt nun weit mehr Blut zur Schleimhaut, sie

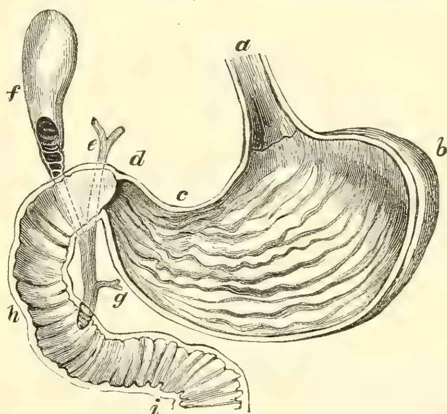


Fig. 42.

Der Magen, eröffnet. *a* Die Schlundröhre; *b* der Magengrund; *c* die kleine Krümmung; *d* der Pförtner; *e* der Gallengang; *f* die Gallenblase; *g* der Ausführungsgang der Bauchspeicheldrüse, welcher mit dem Gallengange vereinigt dem Buchstaben *h* gegenüber in den Zwölffingerdarm, *dhi*, einmündet.

wird rot: gleichzeitig beginnt die Absonderung in den kleinen Drüsen der Schleimhaut, kleine Tröpfchen zeigen sich an den Mündungen ihrer Ausführungsgänge und fließen schließlich zusammen. Das ist der Magensaft. Der ganze Vorgang hat große Ähnlichkeit mit der Rötung der Haut und Schweißabsonderung, von welcher früher die Rede war.

Reiner Magensaft besteht dem ersten Anschein nach fast nur aus Wasser: er enthält nur sehr wenig Salze, eine geringe Menge freier Salzsäure (deshalb reagiert er sauer) und eine gleichfalls nur geringe Menge eines eigentümlichen organischen Stoffes, welcher Pepsin genannt wird und in seiner chemischen Beschaffenheit ähnlich dem Ptyalin des Speichels (§ 14) zu sein scheint, von welchem er sich jedoch in seiner Wirkung wesentlich unterscheidet.

Wenn die Speise in den Magen kommt, wird sie durch die Zusammenziehung dieses Organes umhergerollt und vollständig mit dem Magensafte vermischt.

19. Es ist leicht, die Eigenschaft des Magensaftes durch Versuche nachzuweisen, wenn man einen kleinen Teil der Magenschleimhaut mit kleinen Stücken Fleisch, hart gekochtem Ei oder anderen Eiweißstoffen in angesäuertes Wasser legt und diese Mischung in einer Temperatur von ungefähr 40° C. erhält. Nach einigen Stunden wird man finden, dass das Eiweiß, wenn es nicht in zu großer Menge vorhanden war, aufgelöst worden ist; während alles, was vom Fleische übrig bleibt, ein Brei geworden ist, der hauptsächlich aus Bindegewebe und den Fettstoffen besteht, welche in jenem enthalten waren. Dies nennt man künstliche Verdauung, und es ist durch Versuche bewiesen worden, dass genau derselbe Vorgang stattfindet, wenn Speise der natürlichen Verdauung im Magen eines lebenden Tieres unterworfen wird.

Die auf diese Art entstandene Lösung eines Eiweißstoffes heißt Pepton, und hat fast immer dieselben Eigenschaften, welcher Art auch die verdauten Eiweißstoffe gewesen sein mögen.

Pepton unterscheidet sich von den eigentlichen Eiweißstoffen durch seine außerordentliche Löslichkeit und die Fähigkeit, sehr leicht durch die Poren tierischer Membranen durchzudringen. Manche Eiweißkörper, wie z. B. Fibrin, sind von Natur in Wasser unlöslich; andere, z. B. das Albumin oder Eiweiß der Eier und

des Blutserums, sind zwar in Wasser löslich (wenngleich die Lösung immer eine unvollkommene ist), werden aber schon durch bloſses Erhitzen unlöslich (gerinnen oder koagulieren, wie man es nennt), wie man beim Sieden eines Eies beobachten kann. Eine Lösung von Pepton dagegen ist vollkommen flüssig, wird auch durch Sieden nicht koaguliert. Bringt man Eiweiſslösungen in eine Schweinsblase und hängt diese in Wasser, so werden höchstens Spuren von Eiweiſs durch die Poren der Membran in das Wasser übergehen, vorausgesetzt natürlich, dass die Blase keine Löcher hat. Stellt man aber den gleichen Versuch mit einer Peptonlösung an, so geht in kurzer Zeit eine groſse Menge des Peptons durch die Poren der Membran in das Wasser über, während gleichzeitig Wasser in die Blase eindringt, so dass diese, wenn sie vorher schlaff war, aufschwillt. Man nennt diesen Vorgang Diffusion; er spielt eine groſse Rolle bei den Prozessen des Lebens, insbesondere bei der Aufsaugung oder Resorption der Nahrung im Darmkanale. Offenbar würden die Eiweiſskörper, auch die flüssigen, eben weil sie so wenig diffusibel sind, nicht resorbiert werden können, sondern zum gröſsten Teile mit den Faeces abgehen. Indem sie aber in das leicht diffusible Pepton verwandelt werden, können sie durch die dünnen Wände der Schleimhäute und der Blutkapillaren oder der Chylusgefäſse hindurchdringen und so resorbiert werden, wie dies in den folgenden Paragraphen noch ausführlich geschildert werden wird.

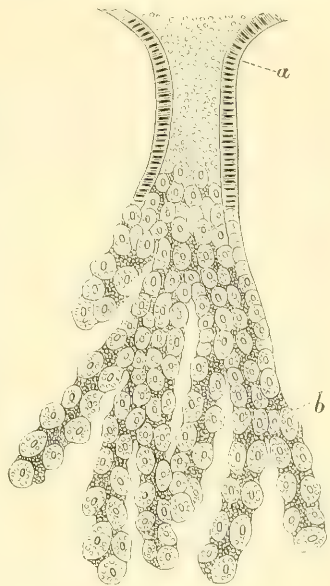


Fig. 43.

Eine von den Labdrüsen des Magens, welche den Magensaft absondern, ungefähr 350 mal vergröſsert.

Ganz die gleichen Betrachtungen gelten auch für die Stärke und ihre Umwandlung in Zucker. Denn Stärke ist unlöslich, und selbst, wenn sie lange mit Wasser gekocht wird, löst sie sich nicht eigentlich, sondern quillt nur auf und verteilt sich

in demselben, geht auch nicht durch die Poren von Membranen. Zucker hingegen ist leicht löslich und leicht diffundierbar. Durch die Umwandlung der Stärke in Zucker wird jene also erst resorptionsfähig.

Es gehört eine lange Zeit (einige Tage) dazu, um durch verdünnte Säuren allein kaguliertes Eiweiſs aufzulösen, und diese Lösungen sind schwer diffusibel. Daher muss man die Hauptwirkung des Magensaftes dem Pepsin zuschreiben.

So viel wir wissen, hat Magensaft keinerlei Wirkung auf Fett. Immerhin macht er, indem er die tierischen und pflanzlichen Gewebe, in welche das Fett eingelagert ist, auflöst, dieses frei und arbeitet so der Thätigkeit anderer Stoffe, welche auf das Fett einwirken können, vor. Ebenso hat Magensaft keinerlei Wirkung auf Stärke. Im Gegenteile, die im Munde begonnene und durch den mit den Speisen verschluckten Speichel im Magen noch fortgehende Wirkung des Ptyalins wird nach einiger Zeit gehemmt, wenn durch die Absonderung des Magensaftes die Reaktion sauer geworden ist. Denn der in alkalischen und neutralen Lösungen so wirksame Speichel hat gar keine Wirkung auf Stärke, wenn die Reaktion sauer ist.

20. Durch beständiges Umherrollen und die andauernde Hinzufügung von Magensaft erhält die Speise zuletzt die Konsistenz einer ziemlich dicken Erbsensuppe und wird dann Speisebrei oder Chymus genannt. In diesem Zustande ist es ihr teilweise gestattet, durch den Pförtner in den Zwölffingerdarm oder das Duodenum einzutreten; aber ein groſser Teil dieser Flüssigkeit (bestehend aus einer Lösung von Salzen, Pepton, Zucker, welcher aus der teilweisen Umwandlung von Stärke oder aus anderen Quellen stammt) wird sogleich resorbiert, d. h. er nimmt seinen Weg vermittelst Einsaugung durch die Wände der zarten und zahlreichen Magengefäſse in den Blutstrom, welcher durch die Magenvenen zur Pfortader strömt.

21. Die Därme bilden eine lange Röhre mit Schleimhaut- und Muskelbekleidung wie der Magen; und wie er sind sie eingehüllt in das Bauchfell oder Peritoneum. Sie zerfallen in zwei Abteilungen, den Dünndarm und den Dickdarm, von denen der letztere einen weit gröſseren Durchmesser hat als der erstere. Der Dünndarm wird wiederum eingeteilt in das Duodenum oder Zwölffingerdarm, das Jejunum oder Leerdarm und

das Ileum oder Krummdarm, aber es giebt keine natürliche Grenzlinie zwischen diesen Abteilungen. Der erste Abschnitt allein, der Zwölffingerdarm oder das Duodenum ist unterscheidbarer als jener Teil des Dünndarmes, welcher sich unmittelbar an den Magen anschliefst; er ist wie ein Hufeisen gekrümmt und durch das Bauchfell an die Rückwand der Bauchhöhle in Form einer in Fig. 42 sichtbaren Schlinge befestigt. In dieser Schlinge liegt der Kopf der Bauchspeicheldrüse (Fig. 38).

Das Ileum (Fig. 45, a) ist nicht breiter als das Jejunum und Duodenum, so dass der Übergang aus dem Dünndarme zum Dickdarme ganz plötzlich erfolgt. Die Öffnung des Dünndarmes in

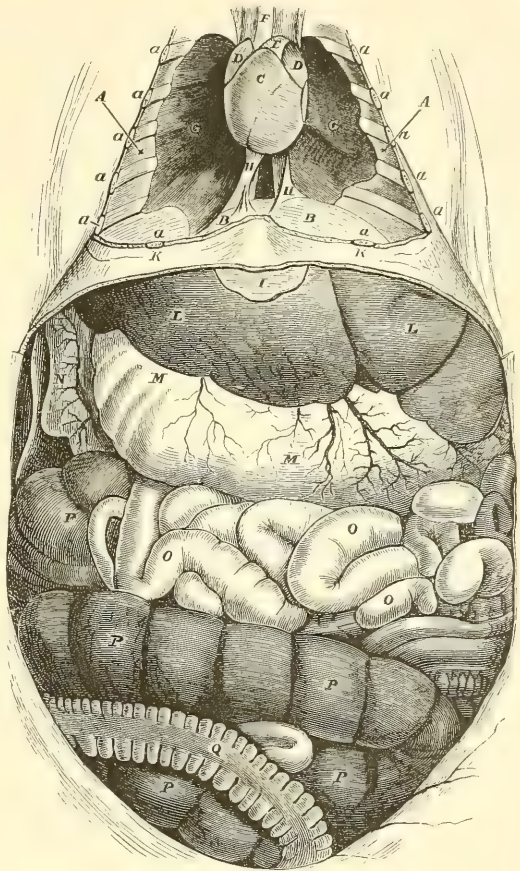


Fig. 44.

Eingeweide eines Kaninchens in ihrer natürlichen Lage nach Eröffnung der Brust- und Bauchhöhle. *A* Brusthöhle; *B* Zwerchfell; *C* die Herzkammern; *D* die Vorhöfe; *E* Lungenarterie; *F* Aorta; *G* Lungen, zusammengesunken und nicht mehr die Brusthöhle ganz ausfüllend; *H* Wandfläche der Pleura; *I* knorpeliges Endstück des Brustbeines *(cartilago ensiformis)*; *K* Stück der Brustwand; *a* durchschnittene Enden der Rippen; *L* die Leber, welche weiter nach links liegt, als dies gewöhnlich der Fall ist; *M* der Magen, dessen grofse Krümmung zum gröfsten Teile sichtbar ist, während die kleine, sowie die Cardia von der Leber verdeckt werden; *N* der Zwölffingerdarm; *O* der Dünndarm; *P* der Blinddarm, welcher bei Pflanzenfressern sehr grofs ist; *Q* der Dickdarm.

den Dickdarm ist mit hervorstehenden Lippen versehen, welche in die Höhlung des letzteren hineinragen und sich dem Übergange von Stoffen aus diesem in den Dünndarm widersetzen, während sie den Übergang in entgegengesetzter Richtung leicht gestatten. Diese Lippen bilden die sogenannte Ileocoecalklappe (Fig. 45, d).

Der Dickdarm bildet unterhalb der Ileocoecalklappe eine blinde Erweiterung, welche Coecum oder Blinddarm genannt wird, und aus diesem geht ein längerer blinder Gang ab, welcher nach seiner Gestalt der wurmförmige Fortsatz *(Processus vermiformis)* des Coecums genannt wird (Fig. 38, b).

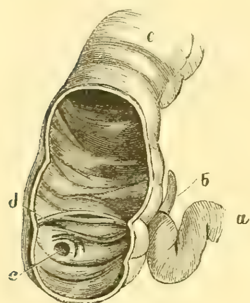


Fig. 45.

Der Übergang des Ileums (*a*) in das Coecum und die Fortsetzung des letzteren in das Colon (*e*), bei *d* sieht man die Ileocoecalklappe; bei *c* die Öffnung des Wurmfortsatzes (*b*) in das Coecum.

Das Coecum liegt im unteren Teile der rechten Seite der Bauchhöhle. Das Colon oder der erste Teil des Dickdarmes geht aufwärts von ihm als das aufsteigende Colon; dann macht es eine plötzliche Wendung in einem rechten Winkel, geht über zur linken Seite des Körpers und wird in diesem Teile seines Laufes das querlaufende Colon genannt; und sodann, plötzlich wieder umbiegend an der linken Seite der Bauchhöhle entlang, wird es zum absteigenden Colon. Dieses gelangt bis zur Mittellinie und wird nun zum Mastdarm, dem Endteile des Dickdarmes, welcher sich nach aufsen öffnet.

22. Die Schleimhaut des ganzen Darmes ist mit zahlreichen, kleinen, zum gröfsten Teile einfachen Drüsen (Lieberkühn'sche Drüsen genannt) versehen, welche ihre Absonderung, den Darmsaft, in den Darm ergiefsen; die Thätigkeit des Darmsaftes ist nicht genau bekannt. Es scheint, dass er, wenngleich in geringem Grade (und vielleicht auch nur bei manchen Tieren) die Fähigkeit besitzt, Stärke in Zucker zu verwandeln und Eiweifskörper zu peptonisieren. Im oberen Teile des Duodenums findet man aufserdem traubenförmige Drüsen (die sogenannten Brunner'schen Drüsen), deren Funktion unbekannt ist.

Dem Dünndarme eigentümliche Gebilde sind die Valvulae conniventes, quere Falten der Schleimhaut, welche die

Oberfläche vergröfsern, und die Villi oder Zotten, welche aufserordentlich kleine, fadenähnliche Fortsätze der Schleimhaut auf den Valvulae conniventes und anderswo sind und dicht zusammen sitzen wie die Haare auf Sammetgewebe. Durch diese Zotten wird die Oberfläche noch viel mehr vergröfsert, was für die schnelle Aufsaugung von gröfster Wichtigkeit ist. Jede Zotte ist mit einem Epithelium bekleidet und enthält in ihrem Innern die Wurzel oder den Anfang eines Milchsaftgefäfses (Vorl. II, § 6). Zwischen diesem und der Oberfläche der Zotte liegt ein Haargefäfsnetzwerk mit seiner zuführenden Arterie und ausführenden Vene.

Die Därme erhalten ihr Blut fast unmittelbar aus der Aorta. Ihre Venen führen das Blut, welches durch die Darmhaargefäfse gegangen ist, in die Pfortader.

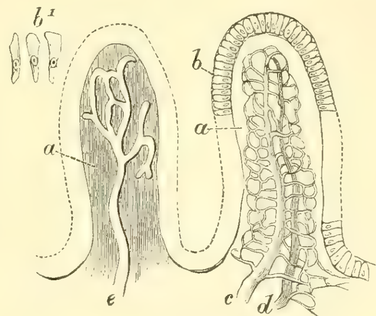


Fig. 46.

Zwei Zotten des Dünndarmes, etwa 50mal vergröfsert. *a* Substanz der Zotte; *b* ihr Epithelium, von welchem einige Zellen losgelöst und bei b^1 besonders gezeichnet sind, *c*, *d* die Arterie und Vene der Zotte mit dem sie verbindenden Netzwerke von Haargefäfsen, welches den Anfang des Milchsaftgefäfses (*e*) umhüllt. Letzteres liegt in der Mitte der Zotte und hängt mit einem Netze von Milchsaftgefäfsen zusammen, welches am Boden der Zotte in der Darmschleimhaut liegt.

Die Fasern der Muskelschicht des Darmes liegen zwischen ihrer Schleimhaut und ihrem serösen oder Bauchfellüberzuge; sie sind in einer Längs- und einer Ringfaserschicht angeordnet. Erstere ist bedeutend dünner und liegt nach aufsen von letzterer. Die Kreisfasern der einzelnen Teile ziehen sich der Reihe nach zusammen, derart, dass die tiefer oder näher zum After gelegenen sich später zusammenziehen als die oberen, oder dem Pförtner zugewandten. Aus dieser sogenannten peristaltischen Zusammenziehung folgt, dass die in den Därmen enthaltenen Massen stetig fortgeschoben werden durch die fortschreitende Verengerung des Darmes von dem oberen nach dem unteren Teile desselben. Die gleiche peristaltische Zusammenziehung findet im Dickdarm, von der Ilio-Coecalklappe nach dem After zu, statt.

Der Dickdarm hat die beachtenswerte Eigentümlichkeit, dass seine Längsmuskelfasern in drei Längsstreifen angeordnet sind. welche kürzer sind als die Darmwände selbst, so dass die letzteren sich in Form von Falten und Säcken hervorbuchten; ferner sind die Ringmuskelfasern um den Ausgang des Mastdarmes herum zu einem ringförmigen Schließmuskel angeordnet, welcher die Öffnung fest geschlossen hält, außer wenn die Austreibung des Inhaltes stattfindet.

23. Die einzigen Absonderungen, welche außer jenen der eigenen Darmdrüsen in die Därme gelangen, sind jene der Leber und der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) — die Galle und der Bauchspeichel oder pankreatische Saft. Die Gänge dieser Organe haben eine gemeinschaftliche Öffnung in der Mitte der Krümmung des Zwölffingerdarmes; und da der gemeinschaftliche Gang schräg durch die Darmwand geht, so dienen seine Wände als eine Art Klappe, welche den Abfluss des Zwölffingerdarminhaltes in den Gang hinein verhindert, aber den Übertritt von Galle und Bauchspeichel in den Zwölffingerdarm gestattet (Fig. 38, 42).

Der Bauchspeichel ist eine alkalische Flüssigkeit, welche in vielen Beziehungen dem Mundspeichel gleicht, doch enthält er, abweichend von letzterem, erhebliche Mengen von Eiweißkörpern. Die Galle haben wir schon kennen gelernt.

Wenn die Magenverdauung einige Zeit vor sich gegangen ist und die halbverdaute Nahrung anfängt in das Duodenum einzutreten, dann wird das Pankreas rot und blutreich, seine Zellen beginnen reichlich abzusondern, und ein starker Strom von Bauchspeichel ergießt sich durch den Ausführungsgang in den Darm.

Die Bereitung von Galle in der Leber geht viel gleichmäßiger vor sich und ist nicht so erheblich beeinflusst von der Nahrung im Magen. Die Galle wird aber nicht fortwährend in den Darm entleert, sondern in der Gallenblase angesammelt: erst wenn der saure Speisebrei ins Duodenum gelangt, wird eine größere Menge Galle aus diesem angesammelten Vorrate zugleich mit dem pankreatischen Safte durch die gemeinschaftliche Öffnung beider Gänge in das Duodenum ergossen. Hier mischen sich beide Flüssigkeiten mit dem Speisebrei oder Chymus, und bewirken erhebliche Veränderungen in demselben.

24. Erstens wirkt das Alkali dieser Säfte auf die Säure des Speisebreies; das Gemenge reagiert nun nicht mehr sauer, sondern wegen des beigemischten Bauchspeichels schwach alkalisch. Zweitens scheint die Galle sowohl wie der Bauchspeichel einen Einfluss auf die im Speisebrei enthaltenen Fette auszuüben, welche die feine Verteilung dieser Fette in sehr kleine Tröpfchen erleichtert. Das Fett, welches der Speisebrei enthält, ist nur unvollkommen mit den wässerigen Teilen desselben gemischt. Im Magen von den einschliefsenden Hüllen befreit und durch die höhere Temperatur geschmolzen, fliefsen die einzelnen Tröpfchen zu gröfseren Tropfen zusammen. Durch die Einwirkung der Galle und des pankreatischen Saftes aber werden diese Fetttropfen emulgiert, d. h. aufserordentlich fein verteilt und mit der wässerigen Flüssigkeit innig vermischt, gerade wie man Öl mit Wasser vollständig vermischen kann, indem man es allmählich unter Zusatz von Eiweifs oder Gummi zu einer sogenannten Emulsion verrührt; oder wie das Fett (d. h. die Butter) der Milch in dem wässerigen Hauptbestandteile der Milch aufgeschwemmt erhalten wird. Wenn diese Emulgierung stattgefunden hat, dann sieht der Inhalt des Dünndarmes nicht mehr grau aus wie der Chymus, sondern weifs, milchig, und zwar aus demselben Grunde, weshalb Milch so aussieht — weil die Unzahl kleiner schwebender Fettteilchen sehr viel Licht reflektiert. Manche nennen deshalb den so veränderten Darminhalt Milchsaft oder Chylus. Es ist aber besser, diese Bezeichnung nur auf den Inhalt der Milchgefäfse zu beschränken, von denen gleich die Rede sein wird.

Die Emulgierung der Fette ist aber nicht der einzige Vorgang, welcher im Dünndarm stattfindet. Die Verwandlung von Stärke in Zucker, welche ganz oder teilweise unterbrochen erscheint, so lange die Speise im Magen bleibt, wegen der Säure des Speisebreies, beginnt wieder, sobald die letztere neutralisiert ist, indem der Bauchspeichel in hohem Grade und der Darmsaft einigermafsen dieselbe Fähigkeit haben wie der Mundspeichel, diese Umwandlung der Stärke zu bewirken. Und in der That wird der gröfste Teil der genossenen Stärke erst im Dünndarm verdaut, d. h. in Zucker verwandelt.

Das ist aber noch nicht alles. Denn der alkalische Bauchspeichel hat aufserdem noch in hohem Grade dieselbe Fähigkeit

wie der saure Magensaft, Eiweifsstoffe in Peptone umzuwandeln. Und die so erzeugten Peptone scheinen von den im Magen entstehenden nicht verschieden zu sein.

Während also im Munde nur Stärke und im Magen nur die Eiweifskörper der Verdauung unterliegen, findet, wie man sieht, im Dünndarm die Auflösung oder feinste Verteilung aller drei Arten von Nahrungsstoffen, der Kohlehydrate, Eiweifskörper und Fette statt, so dass dieselben vollständig für die Resorption, d. h. den Übergang in die Gefäfse vorbereitet werden.

Während der Darminhalt durch die schiebende Thätigkeit der peristaltischen Zusammenziehungen im Innern des Dünndarmes fortgetrieben wird, werden die verdauten Massen resorbiert. d. h. sie treten in die Gefäfse über, welche in den Wandungen des Darmkanals liegen.

Diese Resorption findet zum gröfsten Teil schon innerhalb des Dünndarmes statt und wird später im Dickdarm in geringerem Mafse fortgesetzt. Unzweifelhaft ist es, dass die Zotten des Dünndarmes bei der Resorption eine wichtige Rolle spielen. Jede Zotte ist, wie wir gesehen haben (§ 22), von einem einschichtigen Epithel überzogen und enthält in ihrem Innern die Anfänge eines Milchsaftgefäfses, während zwischen diesem und dem Epithel ein Netzwerk von Blutgefäfskapillaren, eingebettet in einem zarten Grundgewebe, sich befindet. Nun wandern auf irgend eine, durchaus noch nicht vollkommen erforschte Art die feinsten Fetttröpfchen, welche durch die Emulgierung des Fettes entstanden sind, durch die Epithelzellen hindurch in jenes Milchsaftgefäfs. Untersucht man die Zotten nach Aufnahme einer fettreichen Mahlzeit, so findet man das im Innern gelegene Chylusgefäfs mit Fetttröpfchen gefüllt. Dieses steht aber in unmittelbarer Verbindung mit den Chylusgefäfsen, welche sich in der Wand des Darmes verzweigen, und aus diesem entspringen wieder gröfsere Lymph- oder Chylusgefäfse, welche im Mesenterium zum Brustlymphstamm hin verlaufen. In diese Gefäfse gelangt also das fein verteilte Fett aus dem Milchsaftgefäfs der Zotte, mischt sich mit der in jenen enthaltenen gewöhnlichen Lymphe und giebt ihr ein milchiges Aussehen. Diese durch reichliche Fettbeimengung weifse oder milchige Lymphe nennt man deshalb, zur Unterscheidung von gewöhnlicher Lymphe, Milchsaft oder Chylus. Nach fettreicher Nahrung kann man diesen Chylus

von den Lymphgefäſsen der Darmwand durch das Mesenterium hindurch bis zum Ductus thoracicus hin verfolgen, ja selbst innerhalb desselben bis zu seiner Einmündung in das Venensystem. Nach jeder Mahlzeit ergieſst also dieser Brustlymphstamm eine groſse Menge von Chylus, d. h. durch ihren Fettgehalt milchig gewordene Lymphe in das Blut, und dieses Fett ist aus der Nahrung durch Vermittelung der Zotten aufgesogen oder resorbiert worden.

Peptone und Zucker, welche leicht löslich und leicht diffusibel sind, können durch Diffusion in die Substanz der Zotten eindringen und dort durch die Wandungen der Blutgefäſse hindurchtreten. Sie werden deshalb zum gröſsten Teil auf diesem Wege aus dem Darm fortgeführt werden; ein kleinerer Teil wird wohl auch in das zentrale Chylusgefäſs gelangen. Durch die Blutgefäſse gelangen dann Peptone und Zucker in die Pfortader und mit ihr in die Leber, wo sie wahrscheinlich weiteren Veränderungen unterliegen, welche wir zum Teil schon besprochen haben (vgl. Vorl. V, § 24). Hieraus folgt, dass alles im Darmkanal resorbierte Fett, zwar auf dem Umwege durch die Lymphbahnen, aber im wesentlichen unverändert in die allgemeine Blutbahn gelangt. Von dem Zucker und dem Pepton aber können wir vermuten, dass sie auf dem Umwege durch die Leber erst wesentlichen Veränderungen unterliegen, ehe sie, ganz oder teilweise, den allgemeinen Kreislauf erreichen. Denn das Blut der Pfortader, in welches sie zunächst gelangen, unterliegt sicher in der Leber allerlei verändernden Einflüssen, ehe es durch die Lebervene sich wieder dem allgemeinen Blutstrom beimischt. Vieles ist noch dunkel in diesen Dingen, sowohl in Bezug auf die Resorption der Nahrungsstoffe selbst als auch in Bezug auf die Veränderungen der resorbierten Stoffe, von ihrem Eintritt in das Blut bis zu der Zeit, wann sie in das Herz gelangen, um von da sich nach allen Teilen des Körpers zu verteilen.

25. Während so die Nahrung durch den Dünndarm fortgeschoben wird, gehen Verdauung und Resorption gleichzeitig vor sich. Im ganzen Verlauf des Dünndarmes findet fortwährend Lösung und feine Verteilung der Eiweiſskörper, Kohlehydrate und Fette statt, und die gelösten oder fein verteilten Stoffe treten in die Blut- oder die Chylusgefäſse über. Wenn die

Massen schliefslich bis an die Iliocoecalklappe gelangen. ist der gröfste Teil der nahrhaften Stoffe resorbiert. Was noch übrig geblieben ist, tritt in den Dickdarm ein. In diesem findet keine eigentliche Verdauung mehr statt, wohl aber noch eine Art von Gärung, durch welche die Massen saure Reaktion annehmen. Besonders bei Pflanzenfressern kommen derartige Veränderungen im Dickdarm vor.

Die hauptsächlichste Veränderung im Dickdarm ist aber die Wasserresorption, durch welche die Massen eine festere und härtere Beschaffenheit annehmen. Denn im Dünndarm wird die fortwährend stattfindende Resorption ungefähr ausgeglichen durch den Erguss der wasserreichen Sekrete in die Kanalhöhle. Im Dickdarm aber ist die Absonderung eine sehr geringfügige. Gleichzeitig mit der Verminderung des Wassergehaltes entwickelt sich infolge der Fäulnis der charakteristische Geruch der Faeces, welche aus den ganz unverdaulichen sowie aus irgend einem Grunde unverdaut gebliebenen Bestandteilen der Nahrung, den Resten der nicht wieder resorbierten Darmsekrete und abgestofsenen Epithelien des Darmes bestehen.

SIEBENTE VORLESUNG.

Bewegung und Ortsbewegung.

1. In den vorhergehenden Vorlesungen ist erörtert worden, auf welche Weise die Einnahmen des menschlichen Körpers in seine Ausgaben umgesetzt werden. Wir haben gesehen, dass neuer Stoff in Form von organischen oder mineralischen Nahrungsmitteln vom Körper unaufhörlich verbraucht wird, um den Verlust an Stoffen zu ersetzen, welcher hauptsächlich in Gestalt von Kohlensäure, Harnstoff und Wasser unaufhörlich stattfindet.

Die organischen Nahrungsmittel stammen mittelbar oder unmittelbar aus der Pflanzenwelt; und die Erzeugnisse des Umsatzes im Tierkörper sind entweder solche Verbindungen, wie sie in der mineralischen Welt sehr häufig vorkommen, oder zersetzen sich unmittelbar in solche. Hieraus folgt, dass der menschliche Körper der Mittelpunkt einer Strömung von Stoffen ist, welche unaufhörlich aus dem Pflanzen- und Mineralreiche wieder nach dem Mineralreiche zurückströmen. Man kann ihn mit einem Strudel in einem Flusse vergleichen, welcher seine Gestalt für eine unbegrenzte Zeit erhalten kann, obgleich nicht ein einziges Wasserteilchen des Stromes länger als wenige Sekunden in ihm verweilt.

Aber der Strudel des menschlichen Körpers bietet die Besonderheit dar, dass die Stoffteilchen, welche in ihn eintreten, zum gröfsten Teile eine sehr viel verwickeltere Zusammensetzung haben als die, welche aus ihm austreten. Um in einem Bilde zu sprechen, welches doch der Wirklichkeit sehr nahe kommt: die Atome, welche in den Körper eintreten, sind zu grofsen Haufen zusammengeordnet und zerfallen in kleine Häufchen, ehe sie den Körper wieder verlassen. Da dieser Zerfall aber unter Aufnahme von Sauerstoff stattfindet, und die austretenden Stoffe

ganz oder doch teilweise verbrannt oder oxydiert sind, so wird dabei Energie frei und diese ist die Quelle der im Organismus zur Thätigkeit kommenden Kräfte.

2. Diese thätige Kraft äufsert sich in zwei Formen, als Wärme, welche wir schon am Schlusse des vorigen Kapitels kurz besprochen haben, und als Bewegung, und zwar entweder Bewegung einzelner Teile des Körpers gegen einander oder Bewegung des Körpers im ganzen, welche letztere zum Unterschiede Ortsbewegung genannt wird.

Die Organe, welche die Bewegung einzelner Teile des Körpers gegen einander oder des Körpers als eines Ganzen (Ortsbewegung) bewirken, sind dreierlei Art: Zellen mit amöboider Bewegung, Wimpern und Muskeln.

Die amöboiden Bewegungen der farblosen Blutkörperchen sind bereits von uns erwähnt worden. Es ist wahrscheinlich, dass ähnliche Bewegungen von vielen anderen einfachen Zellen in verschiedenen Teilen des Körpers vollführt werden.

Die Bewegung, welche jede derartige Zelle zu vollführen vermag, mag sehr unbedeutend erscheinen. Nichtsdestoweniger haben wir Grund anzunehmen, dass diese amöboiden Bewegungen von grofser Bedeutung für den Organismus sind und unter Umständen wichtige Folgen haben.

3. Wimpern sind äufserst feine Härchen oder Fasern, welche mit ihrem Grunde auf der freien Oberfläche von Epithelzellen (vgl. Vorl. XII) aufsitzen und in der That aus jenen hervorwachsen. Meistens sind es deren sehr viele (dreifsig zum Beispiele) auf einer Zelle, doch in manchen Fällen auch nur einige wenige. Bei manchen niederen Tieren findet man auch Zellen mit nur einer einzigen Wimper oder sogenannten Geifsel. Sie sind fortwährend in wogender Bewegung, so lange Leben in ihnen besteht. Die häufigst vorkommende Form der Bewegung ist die, dass jede Wimper sich plötzlich krümmt und sichelförmig wird und dann sich wieder langsam gerade streckt; das Ganze geht äufserst schnell vor sich, etwa zehnmal in einer Sekunde sich wiederholend. Nun müssen die beiden Bewegungen ja entgegengesetzte Wirkungen ausüben, indem die Krümmung der Wimper die Flüssigkeit, welche sie umspült, in der einen, die Streckung aber in der entgegengesetzten Richtung forttreibt. Da aber die Krümmung sich viel schneller vollzieht als die

Streckung, so muss die Wirkung der ersteren überwiegen. Die schliefsliche Wirkung muss also die sein, eine Bewegung der Flüssigkeit nach der Richtung hervorzubringen, nach welcher sich die Wimper gekrümmt hat. Das findet auch wirklich statt, wenn die Zelle, auf welcher die Wimpern sitzen, festgewachsen ist. Schwimmt aber die Zelle frei in der Flüssigkeit, so wird dieselbe in entgegengesetzter Richtung fortgetrieben, ähnlich wie ein Boot durch seine Ruder.

Man kann dies leicht bei vielen niederen Tieren sehen, bei welchen die Flimmerbewegung nicht selten zur Ortsbewegung des ganzen Tieres dient; aber auch bei losgelösten Zellen höherer Tiere, da die Bewegung der Wimpern sogar noch einige Zeit fortdauert, nachdem die Epithelzelle, an welcher sie angeheftet sind, vom Körper getrennt ist. Die Bewegung der Wimpern geht demgemäfs nicht nur unabhängig vom übrigen Körper fort, sondern sie steht auch nicht unter dem Einflusse des Nervensystems. Was diese Bewegungen der Wimpern veranlasst, ist vollkommen unbekannt. Es scheint, dass der Zellleib der Wimperzellen aus kontraktiler Substanz besteht wie der Leib eines farblosen Blutkörperchens, und dass die Bewegung der Wimpern durch abwechselnde Zusammenziehung und Erschlaffung ihrer beiden Seiten entweder in ihrer ganzen Länge oder nur an ihrer Basis zu stande kommen.

Obgleich kein anderer Teil des Körpers irgend einen Einfluss auf die Bewegung der Wimpern hat, und trotzdem diese untereinander, so viel uns bekannt ist, keinen unmittelbaren Zusammenhang haben, so ist dennoch ihre Thätigkeit auf ein gemeinsames Endziel hingerichtet, indem die Wimpern, welche ausgedehnte Flächen bedecken, alle in der Weise thätig sind, dass sie alles, was auf dieser Fläche liegt, in einer und derselben Richtung hinschieben. So z. B. arbeiten die Wimpern, welche auf den Epithelzellen des gröfsten Teiles der Nasenhöhle und der Luftröhre mit ihren Verzweigungen aufsitzen, derart, dass sie den Schleim, in welchem sie arbeiten, nach aufsen treiben.

Abgesehen von den Luftwegen findet man Wimpern im menschlichen Körper nur noch an wenigen Stellen. Aber die Rolle, welche sie beim Menschen spielen, ist unbedeutend im Vergleiche mit ihren Thätigkeiten bei niederen Tieren, bei denen sie oftmals die Hauptorgane der Ortsbewegung sind.

4. Muskeln (Vorl. I, § 13) sind Anhäufungen von Fasern, deren jede die Fähigkeit hat, unter gewissen Umständen sich zu verkürzen, während sie in den anderen Richtungen anschwillt, so dass der Rauminhalt der Faser im ganzen ungeändert bleibt. Man unterscheidet glatte und quergestreifte Muskelfasern (vgl. Vorl. XII). Die glatten Muskelfasern bilden meistens hautartige Lagen, welche einen Teil der Wandungen der Därme, Gefäſse u. s. w. ausmachen und die Gestaltveränderungen dieser Organe bewirken, von denen in den vorhergehenden Vorlesungen die Rede war. Die quergestreiften Muskelfasern aber, welche die hauptsächlichsten Bewegungsorgane sind, werden durch Bindegewebsumhüllungen, in denen Blutgefäſse und Nerven verlaufen, zu Bündeln, und diese wieder zu Muskeln von verschiedener Form und Gröſse zusammengefasst. Die Fähigkeit der Fasern, sich zu verkürzen, nennt man das Verkürzungsvermögen oder auch die Contractilität der Muskeln; und wenn infolge dieses Vermögens ein Muskel sich zusammenzieht oder verkürzt, so strebt er seine beiden Enden und alles, was an diesen befestigt sein mag, einander zu nähern.

Die Ursache, welche in der Regel die Zusammenziehung einer Muskelfaser verursacht, ist eine gewisse Veränderung (vgl. Vorl. V, § 31) in dem Zustande einer Nervenfaser, welche in engem anatomischen Zusammenhange mit der Muskelfaser steht. Diese Veränderung, die sogenannte Erregung, pflanzt sich in der Nervenfaser von Teilchen zu Teilchen fort, bis sie zur Muskelfaser gelangt und diese zur Zusammenziehung veranlasst. Die Nervenfaser wird deshalb eine motorische oder Bewegungsfaser genannt, weil sie durch ihre Einwirkung auf den Muskel ein mittelbares Werkzeug zur Hervorbringung von Bewegungen wird (vgl. Vorl. XI, § 6).

Die Muskeln sind in hohem Grade elastisch. Sie enthalten sehr viel Wasser (fast so viel als das Blut) und haben während des Lebens ein klares, halb durchsichtiges Aussehen.

Wenn ganz frische Muskeln ausgepresst werden, nachdem man mit groſser Sorgfalt alles in ihnen enthaltene Blut entfernt hat, so geben quergestreifte Muskeln (s. Vorl. XII, § 15) eine Flüssigkeit, welche bei gewöhnlicher Temperatur nach einiger Zeit gerinnt. Einige Zeit nach dem Tode findet diese Gerinnung auch im Innern der Muskelfasern selbst statt. Diese werden da-

durch mehr oder weniger trübe und undurchsichtig, verlieren ihre frühere Elasticität und werden dadurch härter und brüchiger, so dass sie die Form behalten, welche sie beim Beginne der Gerinnung annahmen. Dadurch werden die Glieder in der Stellung, in welcher sie beim Tode sich befanden, festgestellt, und der ganze Körper geht in einen Zustand der Steifheit über, welchen man die Totenstarre (*rigor mortis*) nennt.

Nach Verlauf einer gewissen Zeit wird die geronnene Masse wieder beweglicher, und die Muskeln nehmen eine schlaffe und weiche Beschaffenheit an, welche den Anfang der Fäulnis bezeichnet.

Man hat beobachtet, dass die Totenstarre um so schneller sich löst, je früher sie eintrat, und um so länger anhält, je später sie begann. Je gröfser die Thätigkeit und infolge dessen die Erschöpfung der Muskeln vor dem Tode war, desto früher stellt sich die Totenstarre ein.

Die Totenstarre hat offenbar eine gewisse Ähnlichkeit mit der Gerinnung des Blutes, und die Substanz, welche dergestalt innerhalb der Fasern gerinnt (das Myosin), ist in vieler Beziehung dem Fibrin nicht unähnlich. Zieht man Muskeln mit verdünnten Säuren aus, so erhält man Syntonin, welches wenigstens zum gröfsten Teile aus dem Myosin entstanden ist. Aufserdem enthält die Muskelfaser noch andere Eiweifskörper, von denen man noch wenig weifs, auch gewöhnliches Albumin; ferner aber Fett in wechselnder Menge, unorganische Salze, unter denen phosphorsaure und Kaliverbindungen, wie bei den roten Blutkörperchen überwiegen; endlich eine grofse Zahl von Stoffen in geringen Mengen, welche man oft unter dem Namen Extraktivstoffe zusammenfasst. Einige von diesen sind stickstoffhaltig; der wichtigste von ihnen ist das Kreatin, ein krystallisierbarer Körper, von welchem man annimmt, dass er das Hauptprodukt der im Muskel stattfindenden Umsetzung der Eiweifskörper darstelle und die Vorstufe bei dem Übergange derselben in Harnstoff sei.

Unter den nicht stickstoffhaltigen Extraktivstoffen sind vor allen das Glykogen und die Milchsäure zu erwähnen; letztere entsteht, wie es scheint, wenn der Muskel sich zusammenzieht, aber auch, wenn die Totenstarre eintritt. Denn es ist eine auffallende Thatsache, dass lebende ruhende Muskeln neutral re-

agieren, dass sie aber sauer werden, wenn sie sich stark kontrahieren und wenn sie totenstarr werden.

Die meisten Muskeln haben eine tiefrote Farbe; dies hängt zum Teil von ihrem Blutgehalte ab; doch nur zum Teil, denn jede einzelne Faser, die ganz frei von Kapillaren ist (denn diese verlaufen nur im Bindegewebe zwischen den Fasern), sieht für sich allein rot aus wie ein Blutkörperchen, nur blasser. Und diese Farbe rührt offenbar davon her, dass die Muskelfasern eine geringe Menge Hämoglobin enthalten, wie die Blutkörperchen, nur weniger als diese. Der Gehalt an Farbstoff ist aber nicht bei allen Muskelfasern derselbe; meistens kann man deutlich zwei Arten von Muskelfasern, rote und blasse, bei demselben Tier, ja innerhalb desselben Muskels, unterscheiden.

5. Man kann die Muskeln passend in zwei Gruppen einteilen nach der Art, wie die Enden ihrer Fasern befestigt sind, nämlich in Muskeln, welche sich nicht an festen Hebeln und solche, welche an festen Hebeln sich ansetzen.

Muskeln, welche sich nicht an festen Hebeln ansetzen. Unter diese Abteilung sind zunächst die Muskeln zu zählen, welche man passend hohle Muskeln nennen kann, insofern als sie eine Höhle umschliefsen oder einen Raum begrenzen. Ihre Zusammenziehung verkleinert den Inhalt jener Höhle oder jenes Raumes.

Die Muskelfasern des Herzens, der Blutgefäfse, der Lymphgefäfse, des Ernährungsschlauches, der Harnblase, der Drüsenausführungsgänge, die Kreisfasern der Regenbogenhaut des Auges stellen solche hohle Muskeln dar.

Die Muskelfasern des Herzens (Vorl. XII, § 39) gehören zu den quergestreiften Muskeln und ihre Anordnung ist eine aufserordentlich verwickelte. Sie verkürzen sich, wie wir gesehen haben, in ganz bestimmter Art und Reihenfolge.

Die Regenbogenhaut des Auges ist eine Art von Vorhang, in dessen Mitte ein kreisrundes Loch ist. Ihre Muskelfasern gehören zu der glatten, nicht gestreiften Art (vgl. Vorl. XII, § 38) und sind auf doppelte Weise angeordnet. Ein Teil verläuft strahlenförmig von den Rändern des Loches zu dem äufseren Umkreise des Vorhanges; ein anderer Teil verläuft ringförmig in Kreisen um die Öffnung herum. Wenn die ersteren sich zusammenziehen, müssen sie notwendigerweise die Öffnung er-

weitern, wohingegen die anderen bei ihrer Zusammenziehung die Öffnung verengern.

Im Ernährungsschlauche sind die Muskelfasern gleichfalls glatte oder ungestreifte. Sie sind in zwei Lagen angeordnet; eine Lage (die Längsfaserschicht) ist gleichgerichtet mit der Längsaxe des Darmes, während die anderen, rechtwinkelig auf diese, kreisförmig um den Darm herumlaufen (Ringfaserschicht).

Wie wir schon gesehen haben (Vorl. VI, § 22), erfolgt die Zusammenziehung dieser Fasern der Reihe nach, d. h. alle Muskelfasern auf einer bestimmten Strecke des Darmes ziehen sich nicht gleichzeitig zusammen, sondern die am einen Ende beginnen und die anderen folgen nach, bis die ganze Reihe sich zusammengezogen hat. Da die Reihenfolge der Zusammenziehung unter natürlichen Umständen stets dieselbe ist, nämlich vom oberen zum unteren Ende fortschreitend, so bewirkt diese sogenannte peristaltische Bewegung, wie wir gesehen haben, dass die im Ernährungsschlauche enthaltenen Massen von dessen oberem zum unteren Ende fortgeschoben werden. Die Muskeln der Drüsenausführungsgänge haben eine im wesentlichen gleiche Anordnung und Wirkung. In allen diesen Fällen, wo es sich um glatte Muskelfasern handelt, erfolgen die Zusammenziehungen allmählich, während die Bewegungen des Herzens, wie die aller quergestreiften Muskeln, plötzlich und schnell verlaufen.

6. Muskeln, welche an bestimmten Hebeln befestigt sind. Die gröfste Mehrzahl der Muskeln im Körper sind an bestimmten Hebeln befestigt, welche von den Knochen gebildet werden, deren feinerer Bau in Vorlesung XII, § 25 auseinandergesetzt ist. In den Knochen, welche in der Regel als Hebel dienen, ist das Knochengewebe in Form eines Schaftes (Fig. 47, d) angeordnet, gebildet von einer sehr dichten und festen Knochenmasse, aber öfter eine grofse mittlere Höhle (Fig. 47, b) umschliefsend, welche von einer sehr zarten, gefäfsreichen, faserigen und fettreichen Masse, Mark genannt, ausgefüllt wird. Gegen die beiden Enden des Knochens hin wird die feste, dichte Knochenmasse des Schaftes dünner, und wird ersetzt durch ein viel dickeres, aber lockeres Maschenwerk von Knochenplättchen und Fasern, welches man das Schwammgewebe (Substantia spongiosa) der Knochen nennt. Aber die Oberfläche auch dieses

Teiles des Knochens ist durch eine dünne Schicht dichteren Knochengewebes gebildet.

Wenigstens ein Ende dieser knöchernen Hebel ist zu einer glatten Gelenkfläche gestaltet und mit Knorpel überzogen, wodurch dieses verhältnismäfsig weniger bewegliche Ende des Knochens befähigt wird, auf der entsprechenden Fläche irgend eines anderen Knochens, mit welchem jener in Gelenkverbindung ist, sich zu bewegen, oder umgekehrt dieser letztere, sich gegen den ersteren zu bewegen.

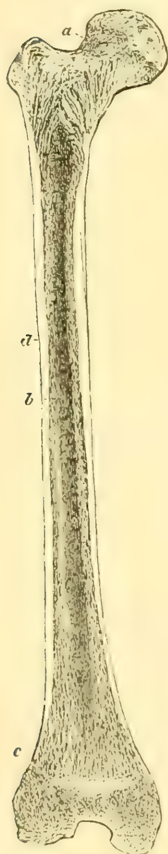


Fig. 47.

Das eine oder andere dieser Enden spielt die Rolle des Drehpunktes, wenn der Knochen als Hebel wirkt.

So bezeichnet z. B. in nebenstehender Abbildung der Knochen der oberen Extremität (Fig. 48) mit den Ansätzen des zweiköpfigen Muskels an das Schulterblatt und an den einen der beiden Vorderarmknochen, welcher Speiche oder Radius genannt wird, der Buchstabe *P* den Angriffspunkt der Kraft (des sich zusammenziehenden Muskels) auf die Speiche, *F* den Stütz- oder Drehpunkt des Hebels, während die Last durch das Gewicht des Vorderarmes gebildet wird.

Um jedoch die Hebelwirkung der Knochen zu verstehen, ist es nötig, Kenntnis von den verschiedenen Arten von Hebeln zu haben, um die verschiedenen Zusammenstellungen von Knochen auf die ihnen entsprechenden Hebelarten zurückführen zu können.

Ein Hebel ist ein starrer (nicht biegsamer) Stab, welcher in einem Punkte vollkommen oder doch im Vergleiche zu den anderen festgehalten wird, während die anderen sich um diesen Punkt drehen können. An irgend einem der beweglichen Punkte des Hebels wirkt eine Kraft und

Längsschnitt durch einen menschlichen Oberschenkelknochen. *a* Der Kopf, welcher am Hüftbeine eingelenkt ist; *b* die Markhöhle; *d* die dichte Knochensubstanz des Schaftes; *c* unteres Gelenkende, welches mit dem Schienbeine zusammen das Kniegelenk bildet.

strebt den Hebel zu bewegen, während an einem anderen Punkte, auf welchen natürlich die Bewegung in vergröfsertem oder verringertem Grade mit übertragen wird, eine Last der Bewegung entgegenwirkt, sei es durch ihr Gewicht oder durch ein anderes Hindernis.

Die Mechaniker unterscheiden drei Arten von Hebeln je nach der Lage des unbeweglichen Punktes (Stütz- oder Drehpunktes), des Angriffspunktes der Last (Gewichtes oder Widerstandes, welche durch Kraft überwunden wird) und des Angriffspunktes der Kraft (welche das Hindernis überwinden soll).

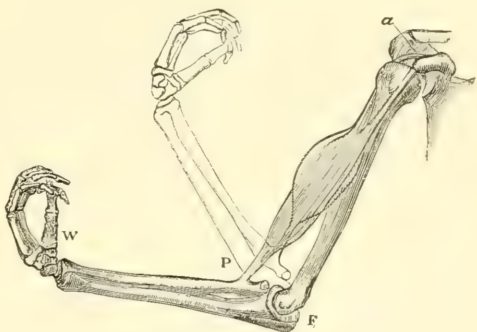


Fig. 48.

Die Knochen der oberen Extremität mit dem zweiköpfigen Muskel. Bei *a* sieht man die beiden Sehnen, durch welche dieser Muskel am Schulterblatte angeheftet ist. *P* bezeichnet den Ansatzpunkt des Muskels an die Speiche und somit den Angriffspunkt der Kraft; *F* den Stütz- oder Drehpunkt; *W* die Last (das Gewicht des Armes und der Hand).

Liegt der Drehpunkt zwischen dem Angriffspunkte der Last und dem Angriffspunkte der Kraft, so dass wenn der Hebel in Bewegung gesetzt wird, Last und Kraft Bogen beschreiben, deren hohle Seiten einander zugekehrt sind, so haben wir einen Hebel erster Ordnung oder einen zweiarmigen Hebel. Der zweiarmige Hebel kann dabei entweder gleicharmig oder ungleicharmig sein, je nachdem die beiden Arme gleiche oder ungleiche Länge haben. (Fig. 49, I.)

Ist der Drehpunkt an dem einen Ende des Hebels und die Last zwischen ihm und der Kraft, so dass bei der Bewegung Last und Kraft Bogen um denselben Mittelpunkt (den Stützpunkt) beschreiben, die Last aber einen kleineren Weg zurücklegt als die Kraft, so haben wir einen Hebel zweiter Ordnung (Fig. 49, II).

Ist endlich der Drehpunkt gleichfalls an dem einen Ende, aber die Kraft zwischen ihm und der Last, so dass wie im vorhergehenden Falle Last und Kraft bei der Bewegung Bogen

um denselben Mittelpunkt beschreiben, die Kraft aber einen kleineren Weg macht als die Last, so nennt man das einen Hebel dritter Ordnung (Fig. 49, III).

Die Hebel der zweiten und dritten Ordnung heifsen auch einarmige Hebel, im Gegensatze zu den zweiarmigen oder Hebeln erster Ordnung.

7. Im menschlichen Körper bieten folgende Teile Beispiele von Hebeln erster Ordnung oder zweiarmigen Hebeln.

a. Der Schädel in seinen Bewegungen auf dem Atlas als Drehpunkt.

b. Das Becken in seinen Bewegungen auf den Köpfen der Oberschenkel als Drehpunkten.

c. Der Fufs im erhobenen Zustande, wenn man mit den Zehen auf den Boden klopft. Hier bildet das Fufsgelenk den Drehpunkt (vgl. Fig. 49, I).

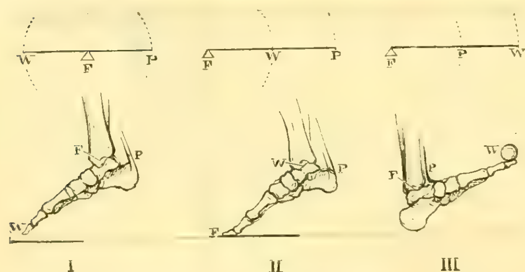


Fig. 49.

Die drei oberen Figuren stellen die drei Hebelarten dar, die unteren den Fufs, welcher in der entsprechenden Art wirkt. — *W* Last; *F* Stützpunkt; *P* Kraft.

Die Angriffspunkte der Kraft und der Last sind in diesen Fällen nicht angegeben worden, weil sie je nach den Umständen sich umkehren können. Zum Beispiel wenn das Gesicht nach unten bewegt wird, ist der Angriffspunkt der Kraft vorn und die Last hinten am Schädel; wenn jedoch das Gesicht gehoben wird, so ist der Angriffspunkt der Kraft hinten und die Last vorn. Das nämliche gilt vom Becken, je nachdem der Körper auf den Schenkeln sich drehend nach vorwärts gebeugt oder nach rückwärts geneigt wird. Endlich wenn die Zehen bei erhobenem Fufse auf den Boden aufklopfen, so ist der Angriffspunkt der Kraft an der Ferse und die Last an der Fufsspitze. Doch wenn die Zehen erhoben werden, um die Bewegung zu wiederholen, so greift die Kraft vorn an und die Last ist jetzt an der Ferse, in diesem Falle dargestellt durch

die Elasticität und Trägheit der Muskeln und der anderen Teile an der hinteren Seite des Unterschenkels.

In allen diesen Fällen aber haben wir es mit Hebeln erster Ordnung oder zweiarmigen Hebeln zu thun, weil der Stütz- oder Drehpunkt, um welchen die Bewegung stattfindet, zwischen der Kraft und der Last sich befindet.

8. Im Folgenden sehen wir drei Beispiele von Hebeln zweiter Ordnung:

a. Der Oberschenkel, wenn er aufwärts gegen den Körper erhoben wird, während der Körper auf dem anderen Beine allein steht, wie beim langsamen Exerzierschritte der Soldaten.

In diesem Falle liegt nämlich der Drehpunkt am Hüftgelenke. Die Kraft wird gegeben durch den geraden Oberschenkelmuskel* an der vorderen Fläche des Oberschenkels, und ihr Angriffspunkt liegt am Knie, während die Last durch das Gewicht des ganzen Beines dargestellt wird, deren Angriffspunkt im Schwerpunkte des Beines irgendwo zwischen Knie und Hüftgelenk gelegen ist.

b. Eine Rippe, welche durch den geraden Bauchmuskel** nach unten gezogen wird, wie es bei der Ausatmung vorkommt.

Hier liegt der Drehpunkt an der Gelenkverbindung der Rippe mit der Wirbelsäule; der Angriffspunkt der Kraft ist am Sternum, d. h. am vorderen Ende der Rippe gelegen; und die Last endlich oder der Widerstand gegen die Bewegung liegt zwischen diesen beiden Punkten.

c. Der Fufs beim Erheben des Körpers auf die Zehen, beim Stehen auf den Fufsspitzen und beim ersten Teile einer Schrittbewegung (Fig. 49, II).

---

* *Musculus rectus femoris* (vgl. Fig. 2, 2, Seite 12), entspringt vom Hüftbeine und setzt sich an die Kniescheibe an, welche durch ein sehr festes Band an dem Schienbeine befestigt ist. Der Muskel kann daher das Bein im Kniegelenke strecken, wenn es gekrümmt war, oder das ganze Bein gegen den Rumpf bewegen, wie in unserem Falle.

** *Musculus rectus abdominis* (vgl. Fig. 2, 3, Seite 12) entspringt vom Schambeine des Beckens, liegt an der vorderen Bauchwand dicht neben der Mittellinie, von dem gleichen der anderen Seite nur durch einen schmalen Sehnenstreifen getrennt, und setzt sich am unteren Ende des Brustbeines fest. Da dieses mit den Rippen verwachsen ist, werden letztere mit dem Sternum herabgezogen, wenn sich der Muskel verkürzt.

Hier liegt der Drehpunkt auf dem Boden, auf welchem die Zehen aufruhen; die Kraft greift an der Ferse an und wird durch die Wadenmuskeln dargestellt; die Last ist das Körpergewicht, welches von dem Fufsgelenke getragen wird, und wirkt also zwischen Kraft und Drehpunkt.

9. Drei Beispiele von Hebeln dritter Ordnung sind die folgenden:

a. Wirbelsäule, Kopf und Becken, zusammen als ein starrer Stab angesehen, welcher auf den Hüftgelenken aufrecht erhalten werden soll (vgl. Fig. 2, 2 und II).

Hier liegt der Drehpunkt in dem Hüftgelenke; die Last liegt im gemeinsamen Schwerpunkte von Kopf und Rumpf, hoch über dem Drehpunkte; die Kraft wird durch die Beuge- oder Streckmuskeln des Oberschenkels geliefert, welche am Hüftbeine angreifen, also näher dem Drehpunkte als die Last.

b. Beugung des Vorderarmes gegen den Oberarm durch den zweiköpfigen Muskel, während ein Gewicht in der Hand gehalten wird.

In diesem Falle liegt die Last in der Hand, der Drehpunkt im Ellbogengelenke, der Angriffspunkt der Kraft am Ansatzpunkte der Sehne des zweiköpfigen Muskels sehr nahe dem Drehpunkte (vgl. Fig. 48).

Dasselbe würde übrigens auch der Fall sein, wenn kein Gewicht in der Hand gehalten würde. Die Last wäre dann gegeben durch das Gewicht des Vorderarmes mitsamt der Hand, und ihr Angriffspunkt wäre zu suchen im gemeinsamen Schwerpunkte beider, welcher etwa in der Mitte des Vorderarmes liegt, also immer noch weiter vom Drehpunkte entfernt, als der Angriffspunkt der Kraft. Dieser Fall kehrt übrigens bei fast allen Bewegungen der Gliedmafsen wieder.

c. Streckung des Unterschenkels gegen den Oberschenkel im Kniegelenke.

In diesem Falle liegt der Drehpunkt im Kniegelenke; der Angriffspunkt der Last liegt im Schwerpunkte des Unterschenkels und Fufses; die Kraft greift mittelst des Kniescheibenbandes an dem oberen Ende des Schienbeines, sehr nahe dem Kniegelenke, an (vgl. die Anmerkung zu § 8 und das eben unter *b* Angefügte).

10. Bei der Untersuchung der Mechanik der Körperbe-

wegungen ist es sehr wichtig, darauf zu achten, dass ein und derselbe Körperteil je nach den Umständen als Hebel erster, zweiter oder dritter Ordnung wirken kann. So haben wir schon gesehen, dass der Fufs im einen Falle als Hebel erster Ordnung (§ 7, *c*), im anderen Falle als Hebel zweiter Ordnung (§ 8, *c*) auftritt. Doch kann er auch als Hebel dritter Ordnung wirken, wenn jemand z. B. ein auf den Zehen liegendes Gewicht durch alleinige Bewegung des Fufses in die Höhe hebt. In diesem Falle liegt die Last an den Zehen, der Drehpunkt im Fufsgelenke und die Kraft wird geliefert von den Streckmuskeln an der Vorderseite des Unterschenkels (Fig. 2, I), welche zwischen dem Drehpunkte und der Last angreifen (Fig. 49, III).

11. Es ist sehr wichtig, dass die Hebel des Körpers nicht gleiten oder ungenau arbeiten, wenn ihre Bewegungen beträchtlich sind. Zu dem Ende sind sie derart zusammengefügt, dass sie ganz bestimmte Gelenkverbindungen bilden.

Wir können unvollkommene und vollkommene Gelenke unterscheiden.

a. Unvollkommene Gelenke sind solche, bei denen die verbundenen Hebel (Knochen oder Knorpel) keine glatten Oberflächen haben, welche fähig sind, sich gegen einander zu drehen, sondern wo die Knochen durch feste Knorpel- oder Bandmassen aneinander geheftet sind und daher nur so viel Beweglichkeit haben, als durch die Biegsamkeit der verbindenden Masse gestattet wird.

Beispiele solcher Verbindungen bietet die Wirbelsäule dar, deren einzelne Glieder oder Wirbel an ihren flachen Seiten durch dicke Platten eines sehr elastischen Faserknorpels aneinander befestigt sind, welche der ganzen Wirbelsäule eine beträchtliche Beweglichkeit und Federkraft verleihen, obgleich sie zwischen den einzelnen Wirbeln nur eine Bewegung innerhalb sehr geringer Grenzen gestatten. Am Becken (vgl. Titelbild, Fig. III) sind die Schambeine untereinander und die Hüftbeine mit dem Heiligenbein durch ähnliches faserig-knorpeliges Gewebe verbunden, welches nur einen geringen Spielraum für Bewegung gestattet. Das Becken als Ganzes erlangt hierdurch eine etwas gröfsere Elasticität, als wenn es ganz und gar aus einem Knochenstück geformt wäre.

b. In allen vollkommenen Gelenken sind die zusammen-

stofsenden Oberflächen der Knochen, welche sich gegeneinander bewegen, mit Knorpel überzogen; zwischen den aufeinander gleitenden Flächen des Knorpels liegt ein in sich geschlossener Sack, dessen beide Hälften an den beiden Knorpelflächen angewachsen sind und teilweise die Seitenwände des Gelenkes bilden. Die innere Oberfläche dieses Sackes sondert eine klebrige, zähe Flüssigkeit, die sogenannte Synovia oder Gelenkschmiere, ab. Deshalb nennt man jene sackartige Haut die Synovialhaut des Gelenkes. Das Innere dieses Sackes ist die sogenannte Gelenkhöhle, die aber, da ihre Wandungen dicht aneinander liegen, im normalen Zustande wenigstens, keinen freien Raum bildet, sondern nur mit der sehr geringen Menge von Synovia angefüllt ist, welche die aufeinander gleitenden Knorpelflächen schlüpfrig erhält, wie durch das Schmieröl die aufeinander gleitenden Flächen bei einer Maschine.



Fig. 50.

Längsschnitt durch das Hüftgelenk, gelegt durch die Pfanne und die Mittelebene des Kopfes und Halses des Oberschenkelknochens. *LT* Das runde Band. Die durch unterbrochene Linien (- - - -) bezeichneten Räume deuten die Gelenkknorpel an. Die Gelenkhöhle ist durch die schwarze Linie angegeben und erstreckt sich, wie man sieht, über die Ausdehnung des Knorpelüberzuges hinaus über den ganzen Kopf und Hals des Oberschenkelbeines.

12. Die aneinander stofsenden Oberflächen der Gelenkknorpel können kugelig, walzenförmig oder rollenförmig sein, und die Ausbiegungen der einen entsprechen mehr oder weniger vollständig den Vertiefungen der anderen.

Zuweilen kommen die beiden Gelenkknorpel nicht unmittelbar miteinander in Berührung, sondern sind durch besondere Knorpelplatten voneinander getrennt, welche man Zwischenknorpel nennt. Die beiden Flächen dieser Zwischenknorpel sind so geformt, wie es den ihnen anliegenden Flächen der

eigentlichen Gelenkknorpel entspricht. Ein solcher Fall liegt beim Kniegelenk vor.

Während diese aufeinander passenden Oberflächen und der Gelenksack für die freie Beweglichkeit der das Gelenk bildenden Knochen sorgen, ist die Art und Weise und die Ausdehnung ihrer Bewegungen begrenzt zum Teil durch die Form der Gelenkflächen, zum Teil durch die Anordnung der Gelenkbänder, fester faseriger Stränge, welche von einem der beiden Knochen zum anderen ziehen.

13. Was die Gestalt der Gelenkflächen anbetrifft, so haben wir zunächst die Kugel- oder Nussgelenke, bei welchen die kugelige Oberfläche des einen Knochens in einer schalenförmigen Vertiefung des anderen spielt. In diesem Falle kann die Bewegung des ersteren Knochens nach jeder beliebigen Richtung geschehen, aber die Ausdehnung der Bewegung hängt von der Gröfse der Schale ab; sie ist sehr grofs, wenn die Schale flach ist und um so kleiner, je tiefer die Schale ist. Das Schultergelenk ist ein Beispiel eines Kugelgelenkes mit flacher Schale, das Hüftgelenk eines solchen mit tiefer Schale (vgl. Fig. 50).

14. Angel- oder Scharniergelenke sind entweder einfach oder doppelt. Im ersteren Falle passt der nahezu cylindrische (drehrunde) Kopf des einen Knochens in eine entsprechende Vertiefung des anderen. Bei dieser Form von Scharniergelenk ist nur eine Bewegung möglich in einer Ebene, welche senkrecht auf der Axe der Cylinderfläche steht, gerade wie eine Thür nur um eine Axe sich drehen kann, welche durch ihre Angeln geht. Das Ellbogengelenk ist das beste Beispiel eines solchen Angelgelenkes im menschlichen Körper (vgl. Fig. 51). Die Bewegung ist hier dadurch beschränkt, dass der vorspringende Teil des Ellbogenbeines (Ul, Fig. 51), das Olecranon, an dem Oberarme anstöfst, sobald Vorderarm und Oberarm bis zur geraden Linie gestreckt sind. Das Knie- und das Fufsgelenk bieten weniger reine Beispiele von Angelgelenken dar.

Ein doppeltes Angelgelenk (auch Sattelgelenk genannt) ist ein solches, bei welchem die Gelenkflächen jedes der beiden Knochen konkav in der einen und konvex in der auf jener senkrechten Richtung sind. Ein Mann im Sattel ist mit dem Sattel gleichsam auf diese Weise in Gelenkverbindung. Denn der Sattel ist von vorne nach hinten konkav und von rechts

nach links konvex, während der Mann mit der Konkavität seiner Beine von rechts nach links und der Konvexität seines Sitzes von vorn nach hinten in den Sattel hineinpasst. Solche Sattelgelenke bieten, wie man leicht sieht, eine freie Beweglichkeit in zwei aufeinander senkrechten Richtungen und eine geringere in den dazwischen liegenden Richtungen.

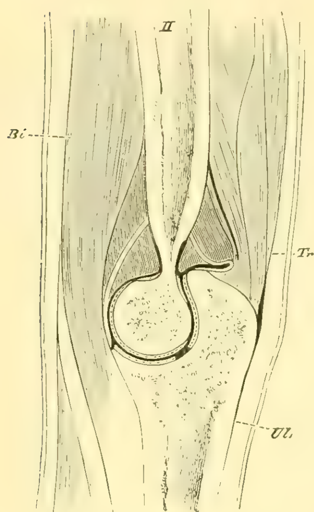


Fig. 51.

Längsschnitt durch das Ellbogengelenk. *H* Oberarm; *Ul* Ellbogenbein; *Tr* der dreiköpfige Muskel, welcher den Arm streckt; *Bi* der zweiköpfige, welcher ihn beugt.

Der Mittelhandknochen des Daumens ist mit einem der Knochen des Handgelenkes, dem sogenannten vieleckigen Beine, auf solche Weise eingelenkt.

15. Ein Zapfengelenk ist ein solches, in welchem der eine Knochen die Form eines Zapfens hat, um welchen ein anderer sich dreht: oder auch er selbst dreht sich um seine eigene Axe, während er an dem anderen Knochen anliegt. Ein bemerkenswertes Beispiel der ersteren Anordnung wird dargeboten durch den Atlas und den Epistropheus, die beiden obersten Knochen der Halswirbelsäule (Fig. 52). Der zweite Wirbel, der Epistropheus, besitzt einen lotrechten Zapfen oder Fortsatz, den Zahnfortsatz (*b*), und neben demselben befinden sich zwei schräg gestellte Gelenkflächen (*a*). Der Atlas ist ein ringförmiger Knochen mit je einer massigen Verdickung an jeder Seite. Die innere Seite des vorderen Teiles dieses Ringes dreht sich um den Zahnfortsatz, und die unteren Flächen der seitlichen Verdickungen gleiten auf den Gelenkflächen zu beiden Seiten des Zahnfortsatzes. Ein starkes Band ist quer zwischen den inneren Flächen der beiden Seitenmassen des Atlas ausgespannt und hält die hintere Seite des Zahnfortsatzes an seinem Platze fest (Fig. 52A). Durch diese Einrichtung vermag der Atlas nach beiden Seiten hin um einen beträchtlichen Winkel auf dem Epistropheus sich zu drehen, ohne irgend welche Gefahr, nach vorwärts

oder rückwärts zu fallen, was dem Leben sofort eine Ende machen könnte durch Quetschung des verlängerten Markes.

Die Seitenteile des Atlas haben an ihren oberen Flächen vertiefte Gelenkflächen (Fig. 52 A, a), in welche die beiden Gelenkhöcker des Hinterhauptbeines des Schädels hineinpassen und in welchen sie auf und ab spielen. Auf diese Weise wird das Nicken mit dem Kopfe hervorgebracht durch eine Bewegung des Schädels auf dem Atlas; wohingegen bei seitlicher Drehung des Kopfes dieser sich nicht auf dem Atlas verschiebt, sondern der Atlas mitsamt dem Kopfe um den Zahnfortsatz des Epistropheus sich dreht.

Die zweite Art von Zapfengelenk sieht man am Vorderarme. Wenn Ellbogen und Vorderam auf einen Tisch gelegt werden und der Ellbogen ganz festgehalten wird, so kann die Hand sich dennoch frei drehen, so dass entweder der Handteller oder der Handrücken gerade nach oben sieht. Ist der Handteller nach oben gekehrt, so nennt man die Stellung Supination (Fig. 53 A); sieht der Handrücken nach oben, Pronation (Fig. 53 B).

Der Vorderarm ist aus zwei Knochen zusammengesetzt. Der eine ist das Ellbogenbein *(ulna)*, welches mit dem Oberarmbein *(Humerus)* im Ellbogen eingelenkt ist in dem schon beschriebenen Scharniergelenke, derart, dass es nur in Beugung und Streckung bewegt werden kann, aber keine Drehung auszuführen vermag. Wenn also Ellbogen und Handgelenk auf dem Tische aufruhen, bleibt dieser Knochen unbewegt.

Aber der andere Knochen des Vorderarmes, die Speiche *(radius)*, hat ein oberes dünnes Ende von der Form einer sehr flachen Schale mit dickem Rande. Die Höhlung der Schale ist in Gelenkverbindung mit einer kugeligen Fläche am unteren Ende des Oberarmbeines; der Rand der Schale aber mit einer konkaven Vertiefung an der Seitenfläche der Ulna.

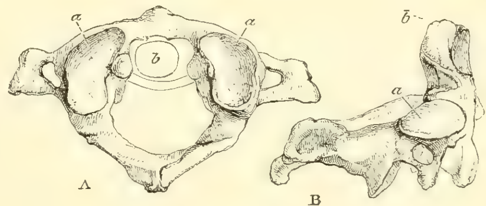


Fig. 52.

A. **Der Atlas von oben gesehen.** *a,a* Obere Gelenkflächen seiner Seitenteile für die Gelenkhöcker des Schädels; *b* der Zahnfortsatz des Epistropheus.

B. **Seitenansicht des Epistropheus.** *a* Gelenkfläche für die Seitenteile des Atlas; *b* Zahnfortsatz.

Das breite untere Ende der Speiche trägt die Hand und hat an der dem Ellbogenbeine zugekehrten Seite eine konkave Gelenkfläche, und diese ist in Gelenkverbindung mit dem konvexen Seitenrande des dünnen unteren Endes des Ellbogenbeines.

Infolgedessen dreht sich das obere Ende der Speiche an der doppelten Gelenkfläche, welche ihm dargeboten wird von der zapfenartigen Kugelfläche des Oberarmbeines und dem Schalenabschnitte des Ellbogenbeines, während das untere Ende der Speiche sich um die runde Gelenkfläche am unteren Ende des Ellbogenbeines herumwälzen kann.

In der *Supinationsstellung* liegt die Speiche dem Ellbogenbeine parallel, ihr unteres Ende nach aufsen von dem letzteren (Fig. 53 A). Bei der *Pronation* dreht sie sich oben um ihre eigene Axe, unten um das Ellbogenbein, so dass sie die Ulna kreuzt und ihr unteres Ende an der inneren Seite der letzteren liegt (Fig. 53 B).

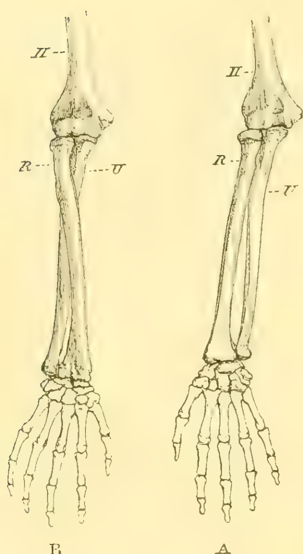


Fig. 53.

Die Knochen des rechten Vorderarmes. *A* Supinationsstellung. *B* Pronationsstellung. *H* Oberarmbein; *R* Speiche; *U* Ellbogenbein.

16. Die Bänder, welche die beweglichen Gelenkflächen der Knochen zusammenhalten, sind bei den Kugelgelenken starke, faserige *Kapseln*, welche die Gelenke von allen Seiten umgeben. Bei den Scharniergelenken hingegen ist das Bandgewebe hauptsächlich zu beiden Seiten der Gelenke in Form sogenannter *Seitenbänder* angehäuft. In einzelnen Fällen sind Bänder innerhalb der Gelenke angebracht, wie beim Knie, wo die Faserbündel, welche, sich kreuzend, schräg zwischen dem Oberschenkelbeine und dem Schienbeine angebracht sind, die *Kreuzbänder* heifsen; oder beim Hüftgelenke, wo das *runde Band* von dem Boden der Pfanne zu dem Oberschenkelkopfe verläuft (vgl. Fig. 50).

Von der Spitze des Zahnfortsatzes des Epistropheus gehen zwei Bänder aus, die sich zu beiden Seiten an dem Rande des Hinterhauptloches, jener grofsen Öffnung an der Schädelbasis,

durch welche das obere Ende des Rückenmarks hindurchtritt, um sich mit dem Gehirn zu verbinden, festsetzen; diese führen den Namen der Hemmbänder, weil sie allzustarke Drehung des Schädels verhindern (Fig. 54, a).

Bei einem Gelenke des Körpers, dem Hüftgelenke, passt die Schale oder Pfanne (Fig. 50) so genau auf den Schenkelkopf, und das Kapselband schliefst ihre Höhle so vollkommen ab, dass der Luftdruck mit zu den Ursachen, welche ein Auseinanderweichen der Teile verhüten, gerechnet werden muss. Man hat dies durch einen Versuch bewiesen, indem man ein Loch in den Grund der Pfanne bohrte. In dem Augenblicke, wo die Luft Zutritt zur Pfanne erhielt, fiel der Schenkel plötzlich so weit, als das runde und das Kapselband es erlaubt, aus der Pfanne heraus, was beweist, dass es vorher durch den Luftdruck festgehalten worden war.

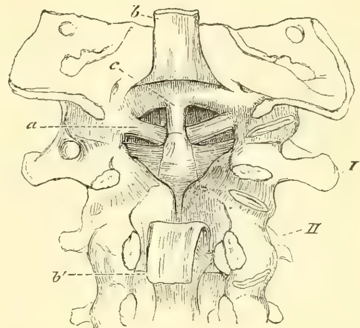


Fig. 54.

Das obere Ende der Wirbelsäule eröffnet. *a* Hemmband des Epistropheus; *b*,*b′* das breite Band, welches sich von dem vorderen Rande des Hinterhauptloches an der hinteren Fläche der Wirbelkörper entlang zieht; es ist durchgeschnitten und die Enden sind zurückgeschlagen, um das Band *c* zu zeigen, welches die Spitze des Zahnfortsatzes mit dem vorderen Rande des Hinterhauptloches verbindet; *I* der Atlas; *II* der Epistropheus.

17. Die verschiedenen Arten von Bewegungen, welche die solcherart verbundenen Hebel auszuführen im stande sind, werden Beugung (Flexion) und Streckung (Extension), Abziehung (Abduktion) und Anziehung (Adduktion), Drehung (Rotation) und Rollung (Circumduktion) genannt.

Ein Glied wird gebeugt, wenn seine Teile im Winkel gegeneinander gebogen, es wird gestreckt, wenn sie in eine gerade Linie gebracht werden; es wird abgezogen, wenn es von der Mittellinie des Körpers entfernt, angezogen, wenn es dieser genähert wird; es wird gedreht, wenn man es um seine eigene Axe, es wird gerollt, wenn man es in einer Kegelfläche um eine in der Mitte des Kegels gedachte Axe herumführt.

Kein Teil des Körpers ist einer vollkommenen Drehung wie ein Rad fähig, schon aus dem einfachen Grunde, weil solch eine Bewegung notwendigerweise alle Gefäſse, Nerven, Muskeln u. s. w., welche das Glied mit anderen Körperteilen verbinden, zerreiſsen müsste.

18. Die Bewegung zweier durch ein Gelenk verbundener Knochen gegeneinander ist immer mindestens nach zwei Richtungen hin möglich. In dem Falle eines reinen Scharniergelenkes sind diese Richtungen einander gerade entgegengesetzt und in derselben Ebene gelegen; bei allen anderen Gelenken aber können sie nach mehreren Richtungen und in verschiedenen Ebenen stattfinden.

In dem Falle eines reinen Scharniergelenkes können die beiden möglichen Bewegungen hervorgebracht werden durch zwei Muskeln, welche sich an die betreffenden Knochen an entgegengesetzten Seiten des Gelenkes ansetzen, d. h. ein Muskel auf der Seite, nach welcher hin einer der Knochen sich bewegt, wenn das Glied gebeugt wird, und der andere auf der Seite, von welcher her diese Bewegung geschieht. Wenn einer dieser Muskeln sich zusammenzieht, dann werden sich seine an den Knochen befestigten Enden einander nähern und das Glied beugen oder strecken, je nachdem er auf der Beuge- oder Streckseite gelegen ist.

So beugt der zweiköpfige Oberarmmuskel (Fig. 48 und 51, Bi) den Vorderarm gegen den Oberarm, während der dreiköpfige (Tr, Fig. 51), auf der entgegengesetzten Seite des Gelenkes gelegen, ihn streckt. Der erstere ist mit einem Ende am Schulterblatte befestigt, am anderen Ende geht eine Sehne über das Ellbogengelenk fort und heftet sich an der vorderen Seite am Radius an. Der Triceps endigt an dem schon oben erwähnten Olecranon des Ellbogenbeines an der hinteren Seite des Gelenkes.

In dem entgegengesetzten Falle von Gelenkverbindung, dem Kugelgelenke, können Bewegungen in einer beliebigen Anzahl von Ebenen ausgeführt werden durch Muskeln, welche sich in entsprechender Anzahl und Richtung einerseits an den Knochen, welcher die Kugel, und andererseits an den, welcher die Schale trägt, ansetzen. Durch regelmäſsig aufeinanderfolgende Zusammenziehung der rund um das Gelenk gelegenen Muskeln kommt dann Rollung des Gliedes zu stande.

19. Gewöhnlich ist der Knochen, an welchen sich das eine Ende des Muskels anheftet, ganz und gar oder doch im Vergleiche zu dem anderen feststehend, während der, an welchen sich das andere Muskelende anheftet, beweglich ist. In diesem Falle nennt man die Anheftung an den festeren Knochen den Ursprung und die an den beweglichen Knochen den Ansatz des Muskels.

Die Muskelfasern sind zuweilen unmittelbar an den Teilen befestigt, welche ihnen als Ursprungs- und Ansatzstellen dienen; gewöhnlicher aber sind starke Stränge oder Bänder faserigen Gewebes, Sehnen genannt, zwischen dem eigentlichen Muskel und seinem Ursprunge und Ansatze eingeschaltet. Wenn die Sehnen über harte Oberflächen wegziehen, so sind sie häufig von diesen durch Säcke, die mit Flüssigkeit gefüllt sind und welche Schleimbeutel genannt werden, getrennt; oder die Sehnen sind auch von Scheiden überzogen, in sich geschlossenen, doppelwandigen Säcken, ähnlich wie wir es bei der Pleura gesehen haben, welche an ihrer inneren Fläche ganz ebensolche Flüssigkeit absondern, wie die Gelenksäcke (vgl. § 11). Hierdurch wird das Hin- und Hergleiten der Sehnen mit sehr geringer Reibung ermöglicht.

Für gewöhnlich ist die Axe des Muskels eine gerade Linie, welche von seinem Ursprunge zu seinem Ansatze verläuft. Bei einigen Muskeln aber, z. B. dem oberen schrägen Augenmuskel, läuft die Sehne über eine durch ein Band gebildete Schlinge und ändert vollkommen ihre Richtung, bevor sie ihren Ansatz erreicht (vgl. Vorl. IX).

Wiederum giebt es Muskeln, welche fleischig an beiden Enden sind und in der Mitte eine Sehne haben. Solche Muskeln nennt man zweibäuchige. Bei dem merkwürdigen Muskel, welcher den Unterkiefer abwärts zieht, und insbesondere den Namen des zweibäuchigen Muskels *(M. digastricus)* führt, läuft die Mittelsehne durch eine Schlinge, welche am Zungenbeine angeheftet ist; und der Muskel, welcher nach unten und vorne vom Schädel zu dieser Schlinge zieht, geht, nachdem er sie passiert hat, wieder nach oben und vorne zum Unterkiefer (Fig. 55).

20. Wir können jetzt von der Betrachtung der einfachen Bewegung zu der der Ortsbewegung übergehen.

Wenn ein auf beiden Füſsen aufrecht stehender Mann zu gehen beginnt und zwar zunächst mit dem rechten Fuſse be-

ginnend, so neigt er den Körper derart, dass der Schwerpunkt etwas nach vorn verlegt wird; dann hebt er den rechten Fuſs, setzt das rechte Bein um eine Schrittlänge nach vorn und setzt den Fuſs wieder nieder. Unterdessen wird die linke Ferse gehoben, aber die Zehen des linken Fuſses haben den Boden noch nicht verlassen, wenn der rechte Fuſs ihn erreicht hat, so dass kein Augenblick vorkommt, in dem beide Füſse vom Boden erhoben wären. Für einen Augenblick bilden beide Beine die Seiten eines gleichschenkeligen Dreieckes, und der Schwerpunkt des Körpers liegt naturgemäſs ein wenig niedriger als bei der Stellung mit geschlossenen parallel nebeneinander stehenden Beinen.

Der linke Fuſs ist bisher noch nicht aus seiner ursprünglichen Lage fortgezogen worden, aber die Muskeln der linken Wade haben zu spielen begonnen, und indem sie auf den Fuſs als einen Hebel zweiter Ordnung wirken, stoſsen sie den Körper, dessen Gewicht auf dem linken Fuſsgelenke lastet, nach oben, vorwärts und rechts. Der so dem Körper mitgeteilte Bewegungsantrieb veranlasst ihn mitsamt dem ganzen rechten Beine einen Bogen über dem rechten Fuſsgelenke zu beschreiben, auf welchem dieses Bein unten aufruht. Der Schwerpunkt des Körpers steigt also infolgedessen zu seiner ursprünglichen Höhe, da das rechte Bein lotrecht zu stehen kommt, fällt aber wieder, wenn das rechte Bein seinerseits wieder vorwärts geneigt wird.

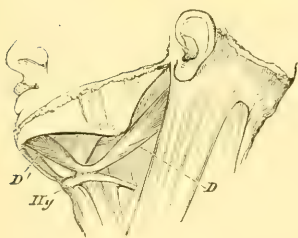


Fig. 55.

Verlauf des zweibäuchigen Muskels. *D* Sein hinterer Bauch; *D'* sein vorderer Bauch; zwischen beiden ist die Sehne, welche durch die am Zungenbeine *Hy* befestigte Schlinge geht.

Wenn nun der linke Fuſs den Boden verlässt, wird der Körper von dem rechten Beine unterstützt und befindet sich ein Stück vor dem linken Fuſse; so dass jetzt ohne weitere Muskelwirkung der linke Fuſs vorwärts schwingt wie ein Pendel und durch seine eigene Trägheit vor den rechten Fuſs zu stehen kommt in die Lage, in welcher er den zweiten Schritt vollendet.

Werden die Zwischenpausen zwischen den Schritten so abgemessen, dass jedes schwingende Bein nach vorn in die Stellung

für einen neuen Schritt ohne Muskelanstrengung von seiten des Gehenden gebracht wird, so kommt das Gehen mit dem möglichst geringen Aufwande von Kraft zu stande. Und da das schwingende Bein sich ganz wie ein Pendel verhält, bei welchem unter sonst gleichen Umständen die Schwingungszeiten von ihren Längen abhängen (kurze Pendel schwingen bekanntlich schneller als lange), so folgt, dass im Durchschnitte der natürliche Schritt kurzbeiniger Menschen schneller ist als der langbeiniger.

Beim Laufen giebt es einen Zeitpunkt, wo beide Beine vom Boden erhoben sind. Die Beine werden zum Teil durch Muskelanstrengung nach vorn bewegt, und die Hebelwirkung jedes Fuſses erfolgt schnell und heftig. In der That gleicht bei heftigem Laufen die Wirkung jedes Beines derjenigen, welche bei gleichzeitiger Wirkung beider Beine den Sprung ausmacht. Hier fügt sich zu dem Stoſse, welcher bei langsamem Gange nur allein durch die Füſse ausgeführt wird, noch die plötzliche Streckung der Beine.

21. Vielleicht der eigentümlichste Bewegungsapparat des ganzen Körpers ist der Kehlkopf, durch dessen Thätigkeit die Stimme hervorgebracht wird.

Die wesentlichen Bedingungen der menschlichen Stimmerzeugung sind:

a. Das Vorhandensein der sogenannten Stimmbänder.

b. Eine solche Stellung der Stimmbänder, dass ihre Ränder parallel aneinander liegen, ohne welchen Umstand ihre Schwingungen nicht im Stande wären, einen Ton zu erzeugen.

c. Ein gewisser Grad von Spannung der Stimmbänder, ohne welche sie nicht schnell genug schwingen, um einen Ton zu geben.

d. Das Durchstreichen eines Luftstromes zwischen den parallelen Rändern der Stimmbänder, der stark genug ist, um die Stimmbänder in Schwingungen zu versetzen.

22. Der Kehlkopf ist eine kurze Röhre, welche nach oben in den Boden des Rachens und nach unten in die Luftröhre übergeht. Er besteht aus vier Knorpeln, welche gegeneinander mehr oder weniger beweglich und untereinander durch Gelenke, Bänder und Muskeln verbunden sind. Quer durch den Kehlkopf geht eine Scheidewand, bestehend aus zwei Falten der Schleimhaut, welche von rechts und links vorspringen, aber sich in der

Mittellinie nicht vollkommen berühren, sondern zwischen sich einen Spalt lassen, der von vorn nach hinten verläuft. Dies ist die Stimmritze oder Glottis. Die freien Ränder dieses Schlitzes sind sehr dünn und scharf und, sozusagen, glatt beschnitten. Innerhalb der Schleimhautfalten liegen, der Länge nach von vorn nach hinten angeordnet, elastische Fasern. Diese Schleimhautfalten nennt man die Stimmbänder *(chordae vocales)*.

23. Der Schildknorpel *(Cartilago thyreoidea*, Fig. 56 und 57, Th.) ist eine grofse Knorpelplatte, welche in einem scharfen Winkel zur Gestalt eines V gebogen ist; dessen Spitze sieht nach vorn und ist am Halse als ein Vorsprung fühlbar, der unter dem Namen „Adamsapfel" bekannt ist. Oben ist der Schildknorpel durch ein Band und eine Membran an dem Zungenbein (Fig. 56 Hy) angeheftet. Unten und hinten laufen seine breiten Seitenflächen in kleine Fortsätze oder Hörner aus; diese sind durch Bänder an der Aufsenseite eines grofsen, runden Knorpels befestigt, welcher seiner Gestalt wegen der Ringknorpel *(Cartilago cricoidea*, Fig. 56, Cr) heifst, und der in Wirklichkeit das obere Ende der Luftröhre darstellt.

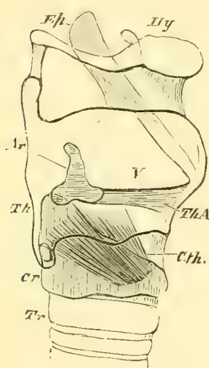


Fig. 56.

Schema des Kehlkopfes. Der Schildknorpel ist durchsichtig gedacht, so dass man den rechten Giefsbeckenknorpel (*Ar*), das Stimmband (*V*) mit dem Schild-Giefsbeckenmuskel (*ThA*), den oberen Teil des Ringknorpels *(Cr)* und die Anheftung des Kehldeckels (*Ep*) sehen kann; *Cth* der rechte Ring - Schildknorpelmuskel; *Tr* die Luftröhre; *Hy* das Zungenbein.

Der Ringknorpel ist hinten viel höher als vorn, so dass er etwa einem Siegelringe gleicht; es bleibt daher zwischen seinem oberen Rande und dem unteren Rande des Schildknorpels, wenn dieser wagerecht steht, vorn eine Lücke, welche nur durch eine Haut ausgefüllt ist. Infolgedessen kann der Schildknorpel auf und ab bewegt werden, soweit es diese Haut gestattet, wobei er sich um die Gelenkverbindung zwischen seinen Hörnern und dem hinteren Teile des Ringknorpels wie um Angeln dreht. Wenn der Schildknorpel mit seiner vorderen Kante nach abwärts oder der vordere Teil des Ringknorpels nach aufwärts geht, so wird die Entfernung zwischen dem vorderen Teile des Schildknorpels und der hinteren Platte des Ringknorpels notwendigerweise vergröfsert, umgekehrt aber verkleinert, wenn

diese Knorpel vorne sich voneinander entfernen. Auf jeder Seite giebt es nun einen breiten Muskel, den Ring-Schildknorpelmuskel (Fig. 56, Cth), welcher von der äufseren Seite des Ringknorpels schräg nach aufwärts und rückwärts zum Schildknorpel verläuft, und letzteren nach unten oder den Ringknorpel nach oben zieht.

24. Auf dem oberen Rand der hinteren Platte des Ringknorpels aufgesetzt und in beweglicher Gelenkverbindung mit demselben sind zwei sehr kleine, unregelmäfsig gestaltete Knorpel. Sieht man von den Unregelmäfsigkeiten ab, so kann man ihre Form als die einer dreiseitigen Pyramide bezeichnen. Das obere Ende oder die Spitze der Pyramide ist etwas verlängert und gekrümmt. Man hat deshalb diese Knorpel auch mit Giefskannen, wie sie zum Begiefsen von Pflanzen gebraucht werden, verglichen und ihnen den Namen Giefsbeckenknorpel *(Cartilago arytenoidea*, Fig. 56 und 58, Ary) gegeben. Die Basis der Pyramide gleitet auf der oberen Fläche der hinteren Platte des Ringknorpels und kann sich frei nach verschiedenen Richtungen bewegen; insbesondere können die vorderen Ränder dieser Knorpel sich einander nähern oder sich voneinander entfernen.

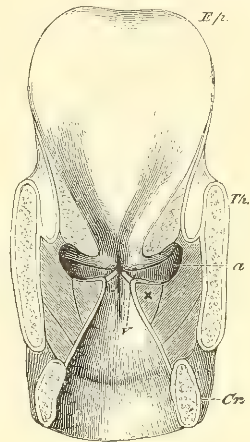


Fig. 57.

Lotrechter Durchschnitt durch den Kehlkopf, dessen hintere Hälfte entfernt worden ist. *Ep* Kehldeckel; *Th* Schildknorpel; *a* die sogenannten Morgagni'schen Taschen oder Hohlräume über den Stimmbändern; *V* Stimmbänder; × der rechte Schildgiefsbeckenmuskel, quer durchschnitten; *Cr* der Ringknorpel.

An diese vorderen Teile der Giefsbeckenknorpel sind die hinteren Enden der Stimmbänder befestigt, und sie erstrecken sich horizontal von da nach vorwärts durch den Hohlraum des Kehlkopfes zu dem einspringenden Winkel, welchen die beiden Platten des Schildknorpels bilden, an dem sie sich, nahe nebeneinander, etwas unterhalb der Mitte derselben anheften.

Wenn also die Giefsbeckenknorpel etwas voneinander abstehen, wie sie im Ruhezustande des Kehlkopfes thun, so muss offenbar die Form der Stimmritze die eines V sein, dessen Spitze nach vorn, dessen

Basis nach hinten gerichtet ist. Denn vorn, im Winkel des Schildknorpels, sind die zwei Stimmbänder dauernd dicht nebeneinander befestigt, während sie hinten so weit auseinander weichen, als die Entfernung der Gieſsbeckenknorpel ausmacht. Unter diesen Umständen verursacht ein Luftstrom, welcher frei durch die Öffnung der Stimmritze streicht, keinen Ton. Daher entsteht auch in der Regel bei der Ein- und Ausatmung kein Ton.

Zwischen den beiden Gieſsbeckenknorpeln sind Muskeln ausgespannt, welche die hinteren Gieſsbeckenmuskeln genannt werden (*Mm. arytenoidei postici*, Fig. 58, Arp). Auſserdem giebt es auf jeder Seite zwei Muskeln zwischen den Gieſsbeckenknorpeln und dem Ringknorpel, die hinteren Ring-Gieſsbeckenmuskeln (*Mm. cricoarytenoidei postici*, Fig. 58, Cap) und die seitlichen (*Mm. cricoarytenoidei laterales*, Fig. 58, Cal). Wenn letztere sich zusammenziehen, so drehen sie die Gieſsbeckenknorpel so, daſs die vorderen Kanten derselben, und mit ihnen die hinteren Enden der Stimmbänder sich einander nähern — — die Stimmritze wird geschlossen und der Verschluss wird durch die Zusammenziehung der hinteren Gieſsbeckenmuskeln noch fester. Die hinteren Ring-Gieſsbeckenmuskeln dagegen entfernen die Stimmbänder voneinander und öffnen die Stimmritze.

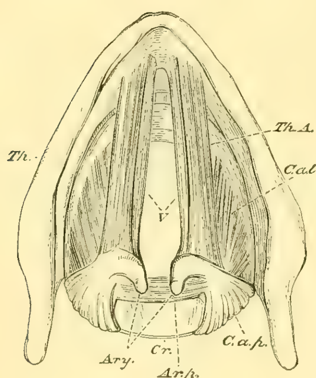


Fig. 58.

Die Stimmritze mit ihrer Umgebung, nach Abtragung der Schleimhaut, von oben gesehen. *Th* Schildknorpel; *Cr* Ringknorpel; *V* die Ränder der Stimmbänder, welche die Stimmritze begrenzen; *Ary* die Gieſsbeckenknorpel; *ThA* Gieſsbecken-Schildknorpelmuskel; *Cal* seitlicher Gieſsbecken-Ringknorpelmuskel; *Cap* hinterer Gieſsbecken-Ringknorpelmuskel; *Arp* hintere Gieſsbeckenmuskeln.

Wir haben gesehen, dass der Ring-Schildknorpelmuskel den Schildknorpel nach abwärts oder den Ringknorpel nach aufwärts bewegt und damit den Abstand zwischen dem vorderen Rand des Schildknorpels und der hinteren Platte des Ringknorpels vergröſsert. Da auf letzterer die Gieſsbeckenknorpel sitzen, so muss, wenn diese festgestellt sind, durch jene Bewegung der Abstand des vorderen Ansatzes der Stimmbänder

(am Schildknorpel) von dem hinteren (an den Gieſsbeckenknorpeln) vergröſsert werden, womit eine vermehrte Spannung derselben verbunden ist.

Zwischen eben diesen Ansatzpunkten der Stimmbänder findet sich aber, eingelagert in die Schleimhautfalte, deren freie Ränder eben die Stimmbänder sind, auf jeder Seite ein Muskel (Fig. 58, ThA), der Gieſsbecken-Schildknorpelmuskel. Die Wirkung dieser Muskeln muss offenbar die entgegengesetzte sein, als die der Ring - Schildknorpelmuskeln, d. h. sie bewegen den Schildknorpel nach hinten, nähern daher die Ansatzpunkte der Stimmbänder einander und machen sie schlaff.

Also kommt die Parallelstellung der Stimmbänder, welche zur Stimmerzeugung unbedingt erforderlich ist, zu stande durch

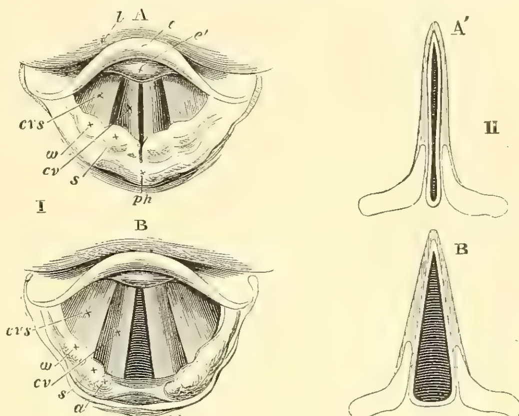


Fig. 59.

I. **Ansicht des Kehlkopfes von oben, wie man sie gewöhnlich mittelst des Kehlkopfspiegels* erhält.** A Bei geschlossener Stimmritze, wenn ein Stimmton hervorgebracht wird; B im Zustande ruhiger Atmung, ohne Stimmton. *e* Kehldeckel *(Epiglottis)*, von oben in der Verkürzung gesehen; *cv* die Stimmbänder; *cvs* die sogenannten falschen Stimmbänder, Schleimhautfalten, welche oberhalb der wahren Stimmbänder liegen; *a* Hervorragung, durch den Gieſsbeckenknorpel verursacht; *s* und *w* ebensolche Hervorragungen, von kleinen Knorpeln verursacht, welche an den Gieſsbeckenknorpeln sitzen; *l* Zungengrund.

II. **Schematische Darstellung der beiden Zustände von I.**

---

* Der Kehlkopfspiegel (von dem Sänger Garcia zuerst zur Beobachtung des Kehlkopfes benutzt, später von Czermak und Türck in die physiologische und medizinische Praxis eingeführt) besteht aus einem kleinen Spiegelchen, welches an einem langen Stiele sitzt und mittelst desselben in den Rachen eingeschoben wird. Licht, welches durch den geöffneten Mund einfällt, wird von dem Spiegelchen auf den Kehlkopf geworfen und beleuchtet denselben. Zugleich aber sieht ein Beobachter, welcher durch den Mund auf das Spiegelchen blickt, das Spiegelbild des Kehlkopfes und kann die Bewegungen der Stimmbänder beobachten. Durch Anbringung eines passend gestellten Spiegels vor dem Munde kann man auch seinen eigenen Kehlkopf auf diese Weise sichtbar machen.

die Wirkung der Gieſsbeckenmuskeln, welche die Gieſsbeckenknorpel einander nähern; die gröſsere oder geringere Spannung der Stimmbänder aber, von welcher die Höhe des Stimmtones abhängt, wird durch die Muskeln bedingt, welche die Stellung des Schildknorpels gegen den Ringknorpel verändern können (Ring-Schildknorpelmuskeln und Schild-Gieſsbeckenmuskeln).

Der Luftstrom, welcher die Stimmbänder in Schwingung versetzt, ist der exspiratorische Luftstrom; sind die Stimmbänder parallel gestellt und somit die Stimmritze geschlossen, und haben die Stimmbänder eine genügende Spannung, dann entsteht durch ihn ein musikalischer Ton, die Stimme; ist aber die Stimmritze offen, dann entweicht die Luft, ohne einen hörbaren Ton zu erzeugen.

25. Alle anderen Umstände gleichgesetzt, hängt die Höhe des von den Stimmbändern hervorgebrachten Tones von ihrer Spannung ab; und diese wird wiederum bedingt von dem Grade der Zusammenziehung der Ring-Schildknorpelmuskeln und der Gieſsbecken-Schildknorpelmuskeln. Denn wenn diese letzteren vollkommen zusammengezogen sind, so wird der Schildknorpel so weit vom Ringknorpel entfernt, als dies überhaupt möglich ist, und die Stimmbänder werden schlaff. Wenn dagegen die Ring-Schildknorpelmuskeln sich stark zusammenziehen, dann werden sie den Schildknorpel so viel als möglich dem Ringknorpel nähern und somit die Stimmbänder stärker spannen.

Legt man die Fingerspitze vorn am Hals an den Zwischenraum zwischen

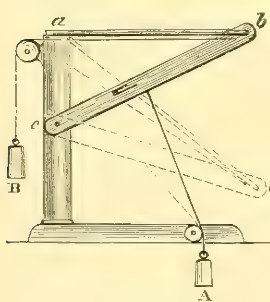


Fig. 60.

Modell zur Erläuterung der Wirkung der Hebel und Muskeln des Kehlkopfes. Das Fuſsbrett und der lotrechte Pfeiler stellen den Ringknorpel und die Gieſsbeckenknorpel vor, während die Schiene *bc*, welche sich um einen Zapfen bei *c* dreht, den Schildknorpel vertritt; *ab* ist ein elastisches Band, welches die Stimmbänder vorstellt. Parallel mit diesem läuft eine Schnur, welche mit ihrem einen Ende an der Schiene *bc* befestigt ist, dann über eine Rolle läuft und das Gewicht *B* trägt. Sie stellt den Gieſsbecken-Schildknorpelmuskel vor. Eine andere Schnur, welche in der Mitte der Schiene befestigt ist und über eine zweite Rolle laufend das Gewicht *A* trägt, stellt den Ring-Schildknorpelmuskel vor. Es ist leicht ersichtlich, dass, wenn die Schiene *bc* niedergezogen wird in die Stellung *cd*, das elastische Band *ab* eine stärkere Spannung erfährt.

Ring- und Schildknorpel, singt erst eine tiefe Note und geht dann plötzlich zu einer hohen über, so fühlt man deutlich durch die Haut hindurch, wie die Ränder der beiden Knorpel sich einander nähern. Dabei hebt sich der Ringknorpel und mit ihm der ganze Kehlkopf etwas; aber diese Bewegung ist wohl zu unterscheiden von der relativen Bewegung der Knorpel gegeneinander, da von letzterer allein die Änderung in der Spannung der Stimmbänder abhängt.

Der Umfang einer Stimme hängt von dem Unterschiede der Spannungen ab, deren die Stimmbänder bei den äufsersten Lagen des Schildknorpels fähig sind. Die Richtigkeit oder Trefffähigkeit beim Singen hängt von der Genauigkeit ab, mit welcher der Sänger willkürlich den Grad der Zusammenziehung der genannten Muskeln abmessen kann, um gerade den Grad der Spannung seinen Stimmbändern mitzuteilen, bei welchen ihre Schwingungen die verlangte Tonhöhe geben.

Das Register der Stimme endlich (Bass, Tenor, Alt oder Sopran) hängt vom Baue des betreffenden Kehlkopfes ab, der ursprünglichen Länge der Stimmbänder, ihrer Elastizität, dem Grade der Resonanz der umgebenden Teile u. s. w.

So haben Männer tiefere Töne als Frauen und Kinder, weil ihre Kehlköpfe gröfser und ihre Stimmbänder länger sind, weshalb sie selbst bei gleicher Spannung langsamer schwingen.

26. Die Sprache ist eine durch Kehle, Zunge und Lippen veränderte Stimme. Daher giebt es wohl eine Stimme ohne Sprache, aber jedenfalls nur eine unvollkommene Sprache ohne Stimme. Zwar werden einzelne Sprachlaute ganz ohne Stimmklang hervorgebracht; für alle anderen muss dann statt der begleitenden Stimme in der Mundhöhle selbst ein Hauch erzeugt werden, welcher den Stimmklang einigermafsen ersetzt, wie dies beim Flüstern der Fall ist.

Die Veränderung im Stimmklange wird hervorgebracht durch Formveränderungen der Mund- und Nasenhöhle durch die Wirkung der Muskeln, welche die Wände dieser Teile bewegen.

Wenn wir z. B. der Reihe nach die Vokale

I E A O U

aussprechen, so finden wir, dass sie alle aus einem Tone, wie wir ihn bei einer langsamen Ausatmung bei offenem Munde erzeugen können, entstehen, dass aber die Form der Mundöffnung bei jedem

Vokale eine andere ist. Sie ist am engsten bei I, am weitesten bei A; bei O und U werden die Lippen vorgeschoben und die Mundöffnung wird rund, bei U enger als bei O.

27. Diese Vokale oder Selbstlaute sind also veränderte Klänge der Stimmbänder, bei den Konsonanten oder Mitlauten aber wird in der Mundhöhle selbst ein Geräusch erzeugt, zu welchem der Klang der Stimme entweder gar nicht oder doch nur begleitend hinzutritt, um den Charakter des Geräusches zu ändern. Je nach dem Orte, an welchem das Geräusch erzeugt wird, unterscheiden wir Gaumenlaute, Zungenlaute und Lippenlaute, je nach der Art, wie das Geräusch erzeugt wird, Verschlusslaute, Reibungslaute und Zitterlaute; und jeder dieser Laute ist wieder ohne oder mit Begleitung des Stimmklanges hervorzubringen.

28. Bei den Verschlusslauten ist die Mundhöhle an einer Stelle geschlossen, und das Geräusch entsteht, indem dieser Verschluss plötzlich durch den Luftstrom durchbrochen wird. Es sind dies die Laute P und B (Lippen), T und D (Zunge), K und G (Gaumen).

Bei den Reibungslauten ist die Mundhöhle nicht vollkommen geschlossen, sondern nur an einer Stelle verengt, und das Geräusch entsteht, indem sich die Luft an dieser Enge reibt. Es sind dies die Laute F und W (Lippen), scharfes und weiches S (Zunge), Ch und J (Gaumen).

Von den Zitterlauten, welche dadurch zu stande kommen, dass der Luftstrom gegen einen weichen Mundteil anprallt und diesen in langsame Schwingungen versetzt, ist nur der Zitterlaut der Zunge R in unserer Sprache üblich.

Die Reibungslaute der Zunge sind kleiner Unterschiede fähig, je nachdem die Zungenspitze an die oberen Schneidezähne oder mehr nach hinten an den harten Gaumen gelegt wird. Wird sie zwischen die Zähne gelegt, so entsteht das Th der Engländer.

Einer besonderen Erwähnung bedarf noch der Laut L. Um ihn zu erzeugen, legt man die Zunge an den harten Gaumen, und die Luft entweicht seitlich zwischen den Zungenrändern und den Wangen. Endlich entsteht der Hauchlaut H, wenn die bei weitgeöffneter Stimmritze ausgeatmete Luft sich an den Rändern der Stimmbänder oder am Gaumen reibt.

Bei allen diesen Lauten streicht die Luft durch den Mund, während die Nasenhöhle durch das Gaumensegel von der Mundhöhle abgesperrt ist. Wird aber die Luft durch Mund- und Nasenhöhle ausgestoſsen und erstere plötzlich verschlossen, so entstehen die Laute M, NG, N, je nachdem der Verschluss an den Lippen, an der Zunge oder am Gaumen stattfindet.

29. Ein künstlicher Kehlkopf kann dargestellt werden durch passende Anwendung elastischer Bänder, welche die Stelle der Stimmbänder vertreten; wird ein Luftstrom durch eine solche künstliche Stimmritze getrieben, so kann man bei sorgfältiger Regelung der Spannungen alle Töne der menschlichen Stimme erhalten. Und da alle Vokale und Konsonanten hervorgebracht werden durch Veränderungen in der Form der Höhlen, welche über dem natürlichen Kehlkopfe liegen, so kann man durch Anbringung von Kammern über dem künstlichen Kehlkopfe, deren Form nach Erfordern geändert werden kann, die verschiedenen Laute erzeugen. Mit Berücksichtigung dieser Thatsachen und Grundsätze sind verschiedene Sprechmaschinen gebaut worden.

30. Obgleich die Zunge das Hauptorgan der Sprache ist und zweifellos eine sehr wichtige Rolle bei ihrer Hervorbringung spielt, so ist sie doch nicht ganz und gar unentbehrlich. Daher mögen die scheinbar fabelhaften Geschichten von Leuten, welche noch sprechen konnten, nachdem ihnen durch die Grausamkeit eines Tyrannen oder Verfolgers die Zunge ausgeschnitten worden, doch etwas Wahres enthalten.

Vor einigen Jahren hatte ich Gelegenheit, eine Person zu untersuchen, welche ich Herr R. nennen will, dessen Zunge so vollständig entfernt war, als ein geschickter Chirurg die Operation nur hatte machen können. Wenn der Mund weit geöffnet war, sah man die Oberfläche des zurückgebliebenen Zungenstumpfes, augenscheinlich mit neugebildeter Schleimhaut überzogen, ganz hinten zwischen den vorderen Schlundpfeilern liegen. Der Zungenrücken war nur mit Mühe zu sehen, doch glaube ich einige der umwallten Papillen (vgl. die folg. Vorl.) auf ihm unterschieden zu haben. Auf dem abgetrennten Zungenstücke, das in Weingeist aufbewahrt worden, waren keine solchen sichtbar; dies Stück war ungefähr 6 cm lang.

Bei offenem Munde konnte Herr R. den Zungenstumpf nicht weiter nach vorn bringen, als bis in die Lage, in der ich ihn

sah; er teilte mir aber mit, dass er ihn bei geschlossenem Munde sehr viel weiter nach vorn bringen könne.

Herrn R.'s Unterhaltung war vollkommen verständlich, und viele Worte wurden gut und deutlich ausgesprochen, in anderen wurden gewisse Laute durch andere ersetzt. In der That war nur die Aussprache derjenigen Laute, deren Hervorbringung mittelst der Zunge stattfindet, verändert, und unter diesen waren auch nur diejenigen, welche die Anwendung der Zungenspitze erfordern (T und D) vollkommen unmgölich. Herr R. ersetzte sie durch F, P, W. Die anderen Zungenbuchstaben waren nur mehr oder weniger im Klange verändert. Auch die Gaumenbuchstaben, bei welchen der Verschluss zwischen Zungenwurzel und Gaumensegel zu stande kommt, waren etwas, aber doch nur wenig, in ihrer Bildung behindert und demgemäſs im Klange verändert.

ACHTE VORLESUNG.

Empfindungen und Empfindungs-Organe.

1. Das Werkzeug, durch welches alle in der vorhergehenden Vorlesung beschriebenen Bewegungsorgane (die Wimperhärchen ausgenommen) in Thätigkeit versetzt werden, ist die Muskelfaser. Aber im lebenden Körper tritt die Zusammenziehung der Muskelfaser nur infolge einer Veränderung ein, welche in dem ihr zugeteilten ableitenden oder Bewegungsnerven vor sich geht. Diese Veränderung wird wiederum nur durch die Thätigkeit des Central-Nervenorgans bewirkt, mit welchem der Bewegungsnerv zusammenhängt. Das Centralorgan seinerseits wird in Thätigkeit versetzt durch die Einwirkung von Veränderungen in der Molekular-Beschaffenheit der sogenannten Zuleitungs oder Empfindungsnerven, welche einerseits mit dem Centralorgane, andererseits mit verschiedenen anderen Teilen des Körpers in Zusammenhang stehen. Diese Veränderungen in den zuleitenden Nerven selbst endlich werden bewirkt durch Veränderungen in dem Zustande des Körperteiles, mit dem jene verbunden sind, welche Veränderungen gewöhnlich von äufseren Eindrücken herrühren.

2. Bisweilen gerät das Centralorgan in den Zustand der Thätigkeit, ohne dass wir im stande wären, diese Thätigkeit auf irgend eine nachweisbare Veränderung in zuführenden Nerven zurückzuführen. Die Thätigkeit scheint in solchen Fällen im Centralorgan selbst ihren Ursprung zu nehmen. Bewegungen, welche auf diese Weise entstehen, nennen wir „spontane“ oder „willkürliche“. Sehen wir von solchen Bewegungen ab, so können wir sagen, dass Bewegung des Körpers oder eines seiner Teile die Wirkung einer mittelbar oder unmittelbar auf die Enden der zuleitenden Nerven ausgeübten Einwirkung, eines soge-

nannten Reizes, sei, welcher eine Veränderung ihrer Molekularbeschaffenheit veranlasst, die sich bis in das Central-Nervenorgan fortpflanzt, mit welchem der Nerv zusammenhängt. Die molekulare Veränderung im Zuleitungsnerven teilt sich dem Centralorgane mit, und erzeugt entsprechende molekulare Veränderungen in den Fasern und Zellen des letzteren. Von diesen wird sie dann auf die Bewegungsnerven übertragen, welche von dem Centralorgane zu den beteiligten Muskeln verlaufen. Hat die Störung in der Molekular-Beschaffenheit der ableitenden Nerven deren Endigungen im Muskel erreicht, so teilt sie sich den Muskelfasern mit und veranlasst die Teilchen derselben eine neue Lage einzunehmen, durch welche jede Faser kürzer und dicker wird.

3. Eine solche Reihe von Molekular-Veränderungen, wie die eben beschriebene, heifst eine Reflex-Bewegung — indem die durch den Reiz verursachte Störung gleichsam vom Centralorgane vermittelst der Bewegungs-Nerven zu den Muskeln reflektiert, d. h. zurückgeworfen wird. Der Name ist aber nicht glücklich gewählt, weil er die Vorstellung erweckt, dass der molekulare Vorgang in den zuführenden Nerven, dem Centralorgan und dem ableitenden Nerven durchaus der gleiche sei und nur durch die Richtung der Fortpflanzung sich unterscheide. Das können wir aber keinesfalls mit Sicherheit behaupten.

Eine Reflexbewegung kann ohne unser Wissen stattfinden, und Hunderte solcher Bewegungen gehen fortwährend in unserem Körper vor sich, ohne dass wir das Geringste davon merken. Aber sehr häufig erfahren wir auch, dass etwas vorgeht, wenn ein Reiz auf unsere zuleitenden Nerven ausgeübt wird — nämlich wenn derjenige Vorgang eintritt, welchen wir ein Gefühl oder eine Empfindung nennen. Wir stellen die Empfindung in eine Reihe mit Gemütserregungen, Wollen und Denken unter dem Gesamtbegriffe „Zustände des Bewusstseins“ zusammen. Aber was Bewusstsein ist, das wissen wir nicht; und wie es zugeht, dass etwas so merkwürdiges wie ein Zustand des Bewusstseins durch eine Reizung des Nervengewebes hervorgebracht wird, ist noch ebenso unerklärlich, wie irgend eine andere letzte Thatsache, zu welcher uns die Analyse der Naturerscheinungen führt.

4. Die Empfindungen sind sehr verschieden nach dem Grade

ihrer Bestimmtheit. Einige steigen in uns auf, ohne dass wir wissen wie oder woher, und bleiben schwankend und unbestimmt. Solcherart sind die Empfindungen des Unbehagens, der Mattigkeit, der Abspannung und der Unruhe. Wir können diesen Empfindungen keine besondere Stelle anweisen; sie rühren wahrscheinlich von einer Einwirkung auf die zuleitenden Nerven im allgemeinen her, die von einem Zustande des Blutes oder der Gewebe, in denen jene sich verzweigen, ausgeht. So unbestritten aber auch das wirkliche Vorhandensein dieser Empfindungen ist, und einen so grofsen Spielraum sie immerhin im Gebiete unserer Freuden und Leiden einnehmen, so können sie uns doch nicht das Geringste von der Aufsenwelt mitteilen. Es sind nicht nur unbestimmte, sondern auch allein uns innewohnende, d. h. subjektive Empfindungen.

5. Das sogenannte Muskel-Gefühl ist weniger unbestimmt als die eben beschriebenen Empfindungen, wenngleich auch sein Sitz nicht ganz genau festgestellt werden kann. Die Muskelempfindung ist das Gefühl des Widerstandes, welches entsteht, wenn der Bewegung des Körpers oder eines Körperteiles irgend ein Hindernis entgegentritt; es ist aber etwas ganz anderes als das Gefühl der Berührung oder des Druckes.

Legt man eine Hand mit dem Rücken flach auf den Tisch und auf die Spitzen der ausgestreckten Finger ein Stück Kartenblatt, so wird einzig und allein die Empfindung einer Berührung erfolgen, da ein so leichter Körper keinen merklichen Druck ausübt. Stellt man nun aber ein Einkilo-Gewicht auf das Kartenblatt, so wird die Empfindung einer Berührung sofort in das sehr verschiedene Gefühl des Druckes übergehen. Bis jetzt haben die Finger und der Arm ruhig auf dem Tische gelegen; hebt man nun die Hand vom Tische auf, so kommt ein neues Gefühl zum Vorscheine: das des Widerstandes gegen die Anstrengung. Dieses Gefühl tritt mit der Thätigkeit der den Arm aufhebenden Muskeln ins Dasein; und das Bewusstsein von dieser Anstrengung ist es, was wir als „Muskelgefühl“ bezeichnen.

Jedermann, der eine Last aufhebt oder trägt, weifs sehr gut, dass er diese Empfindung hat; aber es sollte ihm schwer werden, zu sagen, wo er sie hat. Trotzdem ist dieser Sinn selbst ein sehr zarter und befähigt uns, ziemlich genaue Angaben über

die verhältnismäfsige Stärke von Widerständen zu machen. Personen, welche mit Waren handeln, die nach dem Gewichte verkauft werden, sind stets im stande, eine sehr genaue Schätzung des Gewichtes solcher Waren durch blofses Wägen in der Hand anzustellen, und in diesem Falle verlassen sie sich hauptsächlich auf das Muskelgefühl.

6. Bei anderen Gefühlen dagegen entsteht die Empfindung als Folge von Veränderungen in einem ganz bestimmten Körperteil, wird hervorgerufen durch einen Reiz, welcher auf diesen Teil einwirkt, und kann nicht in gleicher Art zu stande kommen, wenn der Reiz auf andere Körperteile einwirkt. So entstehen Geschmacks- und Geruchsempfindungen ausschliefslich durch Reizung gewisser Teile der Schleimhaut der Mund- beziehungsweise der Nasenhöhle, Gesichtsempfindungen nur durch Reizung des Auges, Gehörsempfindungen nur durch Reizung des Ohrs. Die Gefühlsempfindungen endlich haben zwar ein viel ausgedehnteres Entstehungsgebiet, aber auch sie sind beschränkt auf die äufsere Haut und auf Teile der Schleimhäute, welche die inneren Körperhöhlen auskleiden.

Jeder Körperteil, welcher derart mit einer ihm allein zukommenden Fähigkeit, bestimmte Empfindungen zu vermitteln, ausgerüstet ist, heifst ein Sinnesorgan.

Mit jeder Gefühlsempfindung ist aber immer noch etwas verbunden, was von der Empfindung als solcher wohl unterschieden werden muss, das Bewusstsein nämlich nicht nur von dem Vorhandensein der Empfindung, sondern auch von dem Ort auf der Haut, wo die Empfindung auftritt. Wenn wir einen warmen oder einen rauhen Gegenstand mit der Spitze eines Fingers berühren, so belehrt uns unser Bewusstsein nicht nur darüber, dass wir es mit einem warmen oder einem rauhen Gegenstand zu thun haben, sondern auch, dass dieser Gegenstand gerade jene Fingerspitze berühre. Wir „beziehen“, wie man zu sagen pflegt, die Empfindung auf jenen Körperteil, auf welchen der Gegenstand einwirkt. Nicht bei allen Sinnesempfindungen ist das der Fall. Wenn wir einen schlechten Geruch empfinden, so haben wir nicht die Vorstellung, dass derselbe in der Nase entstehe, trotzdem wir wissen, dass die Nase zum Riechen dient; wir nehmen ohne weiteres an, dass aufserhalb unseres Körpers etwas vorhanden sein müsse, was den schlechten Geruch veran-

lasse. Wir beziehen die Empfindung auf eine äufsere Ursache sogar auch dann, wenn in Wirklichkeit die Empfindung durch Veränderungen in unserer Nase verursacht wird, welche ganz und gar nichts mit äufseren Gegenständen zu thun haben, wie dies bei gewissen Erkrankungen der Nase der Fall ist. In gleicher Weise werden alle Gesichts- und Gehörsempfindungen auf äufsere Objekte bezogen. Und selbst beim Geschmackssinn haben wir, wenn wir ein Stück Zucker in den Mund nehmen, nur die Empfindung des Süfsen schlechthin, ohne sie mit einem bestimmten Teil der Mundhöhle zu verbinden, trotzdem wir durch Vermittelung des Tastsinnes, welcher ja den Organen des Mundes auch zukommt, genau angeben können, an welcher Stelle im Munde das schmelzende Zuckerstückchen sich befindet.

7. Bei den Empfindungen dieser Art, welche in besonderen Sinnesorganen ihren Ursprung nehmen und deshalb oft als „Spezialempfindungen“ bezeichnet werden, entsteht jede Empfindung als Folge der Einwirkung einer besonderen Art von Reizung auf das betreffende Sinnesorgan, und jedes dieser Sinnesorgane ist vermöge seines Baues ganz besonders geeignet, durch den speziellen Reiz erregt zu werden.

So werden die Lichtempfindungen verursacht durch die Einwirkung der Ätherschwingungen auf das Auge, und dieses Organ ist so gebaut, dass Lichtstrahlen, welche in dasselbe hinein gelangen, lebhafte Empfindungen veranlassen, während dieselben Lichtstrahlen, wenn sie auf irgend einen anderen Teil des Körpers fallen, keine merkliche Wirkung ausüben.

Wir können ferner bei jedem Sinnesorgan mehr oder weniger vollkommen zweierlei unterscheiden: einen wesentlichen Teil, durch welchen das die Empfindung bewirkende Agens (Licht, eine Reihe von Schallschwingungen, schmeckende oder riechende Stoffe, Wechsel der Temperatur oder des Druckes) Veränderungen hervorbringen in gewissen Gebilden, welche mit den zarten Nervenendigungen des Sinnesorganes in Verbindung stehen, und einen Hilfsapparat, der nicht unbedingt notwendig ist, aber von grofsem Nutzen, insofern er dazu beiträgt, dass jenes Agens auf die wirksamste Art auf jenen wesentlichen Teil einwirken kann. Beim Auge z. B. ist dieser Hilfsapparat aufserordentlich verwickelt und scheint in der That den gröfseren Teil des Sinnesorganes auszumachen; bei anderen Sinnesorganen ist er einfacher.

Der wesentliche Teil jedes Sinnesorganes besteht aus modifizierten Epithelialzellen, bis zu welchen man mit mehr oder weniger großer Sicherheit die Nervenfasern verfolgen kann, welche in den Zellen zu enden scheinen. Diese kleinen Organe (die modifizierten Epithelzellen) kann man deshalb als Sinneszellen bezeichnen. Sie dienen als Vermittler zwischen dem physikalischen Agens, welches auf das Organ einwirkt, und dem Nerven, welcher durch dasselbe erregt wird. Das physikalische Agens ist an sich nicht im stande in den Fasern des Sinnesnerven diejenigen Veränderungen hervorzurufen, welche, zum Gehirn fortgeleitet, dort besondere Sinnesempfindungen veranlassen. So werden wir später sehen, dass Lichtstrahlen, welche auf den Sehnerven fallen, keine Lichtempfindung veranlassen können. Das physikalische Agens muss erst auf die spezifischen Nervenendorgane wirken, und diese wirken erst ihrerseits auf die Nervenfasern. Licht, welches auf die Nervenendorgane in dem wesentlichen Teile des Auges, die Netzhaut, fällt, wirkt verändernd auf dieselben ein und diese bewirken entsprechende Veränderungen in den feinen Nervenfäserchen, welche mit jenen Endorganen zusammen die Netzhaut ausmachen, und die Veränderungen in diesen Nervenfasern endlich sind es, welche, durch den Sehnerven zum Gehirn geleitet, in dem letzteren die Lichtempfindung hervorrufen.

Demnach ist bei dem wesentlichen Teil jedes Sinnesorganes zu unterscheiden zwischen den Endigungen des Sinnesnerven und den mit diesen verbundenen Nervenendorganen, den modifizierten Epithelzellen oder Sinneszellen; und außerdem ist der mehr oder weniger verwickelte Hilfsapparat zu beachten.

Und darum giebt es bei jeder dieser speziellen Empfindungen gewisse Erscheinungen, welche durch den Bau des Organes bedingt sind, und andere, welche von der Art und Weise herrühren, wie der Centralapparat des Nervensystemes auf die ihm durch das Sinnesorgan zugeführten Erregungen reagiert.

8. Der Tastsinn (zusammen mit dem Gefühl für Wärme und Kälte) ist, mehr oder weniger scharf, über alle Teile der freien Oberfläche des Körpers und die Wände der Mund- und Nasengänge verbreitet.

Überall, wo dieser Sinn vorhanden ist, besteht die Haut

(äufsere Körperhaut oder Schleimhaut) aus einer tieferen Schicht von faserigem Bindegewebe, Dermis, in welcher sich Blutgefäfse verbreiten, und einer oberen Schicht von Epithel- oder Oberhautzellen, Epidermis, welche keine Blutgefäfse enthält.

An Stellen, wo der Tastsinn besonders fein ist, breitet sich die tiefere Schicht nicht flach aus, sondern erhebt sich in zahlreichen kleinen, dicht nebeneinander sitzenden, kegelförmigen Erhebungen, welche Papillen oder Tastwärzchen heifsen (Fig. 32). In der Haut richtet sich die Decke von Epithel- oder Oberhautzellen aber nicht nach den Umrissen dieser Wärzchen, sie senkt sich vielmehr in die zwischen ihnen liegenden Vertiefungen ein und bildet so einen ziemlich ebenen Überzug. Daher treten die Spitzen der Tastwärzchen viel näher an die Oberfläche als sonst die Fläche der tieferen Schicht, aus der diese Tastwärzchen hervorragen.

Gefäfsschlingen und die äufsersten Enden der in der Haut verteilten Fasern der Empfindungsnerven treten in die Tastwärzchen ein.

In manchen Fällen endet die Nervenfaser innerhalb der Papille in einem besonderen Endorgan, einem sogenannten Tastkörperchen (s. Vorl. XII) oder in einem diesem ähnlichen Gebilde, dem Nervenendkolben. Beide Arten von Organen bestehen im wesentlichen aus einer ovalen oder rundlichen Anschwellung, welche durch Erweiterung der zarten bindegewebigen Nervenscheide gebildet wird. In der Mitte dieser Anschwellung endet die Nervenfaser selbst plötzlich in besonderer Weise. Diese Körperchen findet man vorzugsweise in den Tastwärzchen solcher Körperteile, welche ein ganz besonders feines Tastgefühl besitzen, wie die Spitzen der Finger, die Zungenspitze u. s. w. Die Papillen, welche Tastkörperchen enthalten, enthalten in der Regel wenige oder gar keine Blutgefäfse.

Aber weitaus der gröfste Teil der in die Haut eintretenden Nerven endigen nicht in solchen bestimmten Endorganen. Sie teilen sich vielmehr innerhalb der Dermis in aufserordentlich zarte und dünne Fäden, deren Verlauf und schliefsliche Endigung nur mit grofser Schwierigkeit verfolgt werden kann. Einige dieser feinsten Fädchen scheinen jedoch in die Epidermis einzutreten und sich dort zwischen den Epidermiszellen zu verlieren

oder mit einzelnen derselben, namentlich solchen der tieferen Lagen unmittelbar zu verbinden.

9. Aus dem Gesagten ist deutlich zu ersehen, dass zwischen einem betasteten Körper und dem Empfindungsnerven keine unmittelbare Berührung stattfindet, indem überall eine dünnere oder dickere Schicht von Epithel oder Oberhaut zwischen beiden liegt. Und in der That, wenn diese Schicht entfernt ist. z. B. nachdem sich eine Blase gebildet hatte, so veranlasst die Berührung der nackten Fläche eine Empfindung von Schmerz und nicht von eigentlichem Tastgefühl. Daraus folgt, dass beim Tastgefühle der wesentliche Teil des Sinnesorganes entweder von gewissen epithelialen Zellen der Epidermis oder von jenen besonderen Gebilden der Tastkörperchen oder Endkolben und ähnlicher, welche wir hier nicht genauer beschreiben wollen, gebildet wird. Diese Epithelzellen, nur wenig modifiziert in der Haut selbst, etwas mehr in den Tastkörperchen und Endkolben, stellen die eigentlichen Nervenendorgane dar. Sie dienen als die Vermittler zwischen dem Nerven und der physischen Ursache der Empfindung, dem äufseren Druck. Der Hilfsapparat aber, welcher aus den mehr oder weniger zahlreichen Papillen und der bald dickeren, bald dünneren, die Nervenenden bedeckenden Lage der Epidermiszellen besteht, ist beim Tastorgan nur in sehr geringem Grade ausgebildet.

10. Gewisse im Bereiche des Tastgefühles auftretende, sehr sonderbare Erscheinungen sind wahrscheinlich die Folge dieser wechselnden anatomischen Anordnung. Nicht allein ist an einigen Stellen die Empfindlichkeit gegen einen einzelnen Eindruck viel geringer als an anderen — ein durch die verschiedene Dicke der Epidermis leicht erklärlicher Umstand — sondern auch die Fähigkeit, zwei gleichzeitige Eindrücke getrennt wahrzunehmen, ist nicht überall dieselbe. Wenn nämlich die Enden eines Zirkels (auf dessen Spitzen man kleine spitze Korkstückchen aufsetzen kann, um das Stechen zu verhindern) nur etwa 2 mm weit auseinander stehen, so werden sie bei der Berührung mit den Fingerspitzen deutlich als getrennte Spitzen wahrgenommen; bei Berührung des Handrückens mit denselben dagegen wird nur ein Eindruck empfunden, und auf dem Arme muss der Abstand der Zirkelspitzen bis auf 6—8 mm und darüber vergröfsert werden, ehe sie getrennt wahrgenommen werden können.

Genaue Versuche an den verschiedenen Teilen des Körpers haben ergeben, dass die Zungenspitze noch bei einer Entfernung von 1 mm, die Fingerspitzen bei 2 mm Entfernung beide Enden gesondert wahrnehmen, während auf der Wange die um 25 mm weit entfernten, auf dem Rücken die 65 mm weit getrennten Zirkelspitzen nur einfache Empfindung hervorrufen.

11. Das Gefühl der Wärme und Kälte entsteht durch eine Erregung von in der Haut verteilten Empfindungsnerven, welche wahrscheinlich von den das Tastgefühl erzeugenden verschieden sind.

Auch die Wärme muss durch die Zellenschicht der Epidermis oder des Epithels hindurch auf die Nervenenden einwirken, um jenes Gefühl hervorzubringen; denn wie die Berührung eines nackten Nerven oder eines Nervenstammes nur Schmerz verursacht, so giebt auch die Erwärmung oder Erkältung eines entblöfsten Nerven oder eines Nervenstammes nicht die Empfindung von Wärme oder Kälte, sondern von Schmerz. Taucht man den Ellnbogen in eine Mischung von Eis und Salz, so erregt die Kälte anfangs die Nervenenden in der Haut der eingetauchten Stelle und wird als solche empfunden. Wenn aber die Abkühlung tiefer dringt und den Ulnarnerven erreicht, welcher am Ellnbogen nicht tief unter der Haut liegt, dann wird diese Erregung nicht als Kälte, sondern als Schmerz empfunden. Und dieser Schmerz wird nicht an dem Nervenstamm wahrgenommen da, wo die Erregung in Wirklichkeit stattfindet, sondern in denjenigen Teilen, in denen die betreffenden Nervenfasern enden, insbesondere im vierten und fünften Finger.

Ferner ist die Wärme- und Kälteempfindung mehr eine vergleichende als eine unbedingte. Man fülle drei Gefäfse, das eine mit eiskaltem, das zweite mit so heifsem Wasser, dass man es eben noch ertragen kann, und das dritte mit einer Mischung von beiden. Taucht man nun die Hand in das heifse Wasser und gleich darauf in die Mischung, so wird letztere sich kalt anfühlen; hält man die Hand aber erst einige Augenblicke in das eiskalte Wasser und dann in die Mischung, so fühlt sich dieselbe warm an.

Wie das Tastgefühl ist auch das Wärmegefühl nicht gleichmäfsig fein an den verschiedenen Teilen des Körpers.

Die Wangen sind sehr empfindlich, mehr als die Lippen. Die Handflächen sind empfindlicher für die Kälte, als der Rücken der Hand. Eine Waschfrau hält daher ihr Bügeleisen an die Wange, um dessen Temperatur zu erproben, und wer friert, streckt die Handflächen über dem Feuer aus.

12. Das Organ des Geschmacksinnes ist die Schleimhaut, welche die Zunge, besonders den hinteren Teil ihrer oberen Fläche, und den hinteren Teil des Gaumens bedeckt. Wie bei der Haut erhebt sich auch die tiefere, gefäfsreiche Schicht der Schleimhaut der Zunge in Form von Wärzchen oder Papillen, aber diese sind gröfser, stehen getrennt und haben jede eine besondere Epithelialbekleidung. Nach der Zungenspitze zu sind sie zum gröfseren Teile lang und spitz und werden fadenförmige Papillen (*Papillae filiformes*) genannt; auf der übrigen Zungenfläche sind diese mit anderen gemischt, welche gröfser sind, breite Oberflächen und schmale Grundflächen haben und wegen ihrer Gestalt pilzförmige Papillen (*P. fungiformes*) genannt werden. Nach der Zungenwurzel zu endlich befindet sich auf einem Raume von der Gestalt eines *V*, dessen Spitze nach hinten sieht, eine Anzahl gröfserer Wärzchen, deren jedes einem von einem Walle umringten, pilzförmigen Wärzchen ähnlich ist. Diese heifsen die umwallten Wärzchen (*Papillae circumvallatae*). (Fig. 61, Cp.)

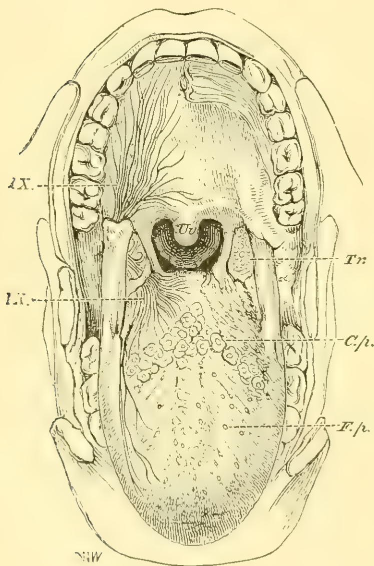


Fig. 61.

Der Mund, weit geöffnet, um Zunge und Gaumen zu zeigen. *Uv* das Zäpfchen; *Tr* die Mandel zwischen den vorderen und hinteren Schlundpfeilern; *Cp* die umwallten Papillen; *Fp* die pilzförmigen Papillen. Die kleinen fadenförmigen Papillen bedecken die Zwischenräume zwischen diesen. Auf der rechten Seite sind die Zunge und der Gaumen teilweise präpariert, um den Verlauf der Fasern des Zungenschlundnerven (*N. glossopharyngeus, IX*) zu zeigen.

Die gröfseren dieser Wärzchen tragen untergeordnete kleine auf ihren Oberflächen. Sie sind sehr gefäfsreich und erhalten Nervenfasern von zwei Stämmen, einerseits von dem Zungenschlundkopfnerven (*N. glossopharyngeus*), andererseits von dem Zungenaste des fünften Hirnnerven (*Ramus lingualis* des *Trigeminus*, vgl. Vorl. XI, § 18). Letzterer versieht hauptsächlich die Vorderseite der Zunge, ersterer die hinteren Teile und den anliegenden Teil des Gaumens; und wir haben Ursache anzunehmen, dass diese beiden Nerven verschiedene Arten von Geschmacksempfindungen vermitteln.

Ein Teil der Epithelzellen der Zunge und des Gaumens, namentlich derjenigen, welche die Papillen überziehen, sind in besonderer Weise modifiziert. Sie legen sich zu kleinen Körperchen zusammen, ähnlich den Blättchen in einer Knospe, und das ist auch der Grund, warum man diesen Körperchen den Namen Geschmacksknospen gegeben hat. Zu diesen Zellen kann man die Nervenfasern des Glossopharyngeus und Lingualis hin verfolgen; sie bilden also die Endorgane dieser Nerven und somit den wesentlichen Teil des Geschmacksorganes, während die Papillen und die Zunge selbst, welche durch ihre Bewegungen die innige Berührung der schmeckenden Stoffe mit jenen Endorganen befördert, den Hilfsapparat darstellt.

Die grofse Mehrzahl der Empfindungen, welche wir Geschmack nennen, sind indessen in der Wirklichkeit zusammengesetzte Empfindungen, bei denen der Geruch und sogar das Tastgefühl keine geringe Rolle spielen. Wenn die Mitwirkung des Geruchs ausgeschlossen ist, z. B. durch dichten Verschluss der Nase, wird es oft schwer, durch den Geschmack allein verschiedene Stoffe voneinander zu unterscheiden. Schliefst man dann auch noch die Augen, so kann es vorkommen, dass man eine Zwiebel mit einem Apfel verwechselt.

13. Das Organ des Geruchsinnes ist ein Teil der die Nasenhöhlen auskleidenden, zarten Schleimhaut, welcher sich von der übrigen Nasenschleimhaut dadurch unterscheidet, dass er keine Flimmerzellen trägt und dass er zahlreiche Nervenfasern von dem Riechnerven (*N. olfactorius*) oder ersten Gehirnnervenpaare neben Fasern des N. trigeminus erhält, während die übrigen Teile der Nasenschleimhaut von dem letzteren Nerven allein versorgt werden.

Jedes Nasenloch führt in eine geräumige Nasenkammer oder -höhle; beide Höhlen sind in der Mitte der Nase durch eine zum Teil aus Knochen und zum Teil aus Knorpel gebildete Scheidewand, das Septum, welches mit der äufseren Scheidewand der Nasenlöcher zusammenhängt, voneinander getrennt. Beide Nasenkammern sind nach unten von der Mundhöhle durch einen festen Boden, den harten Gaumen (Fig. 62, 63) geschieden. und wo diese Scheidewand hinten endigt. setzt sie sich in einem fleischigen Vorhange, dem schon beschriebenen weichen Gaumen oder Gaumensegel fort, welcher nach unten bis an die Zungenwurzel hinunterreicht. Der weiche Gaumen und die Zungenwurzel bilden unter gewöhnlichen Umständen eine bewegliche Querwand zwischen dem Munde und dem Schlundkopfe; die Öffnung der Luftröhre, die Stimmritze (*Glottis*) liegt aber hinter dieser Querwand, so dass, wenn die Zungenwurzel dicht an das Gaumensegel angelegt wird, der Weg für die Luft zwischen Mund und Luftröhre versperrt wird. Über und hinter jener Querwand liegen indessen die sogenannten Choanen oder hinteren Nasenlöcher, zwei innere Öffnungen der Nasenhöhlen. voneinander getrennt durch das Ende des Septums; und mittelst dieser weiten Öffnungen geht die Luft mit Bequemlichkeit durch die Nasenlöcher und unteren Nasenkammern zur Stimmritze und umgekehrt. Mit Hilfe dieser, der Luft stets frei geöffneten Zugänge können wir, wie wir gewöhnlich auch thun. bei geschlossenem Munde atmen.

Jede Nasenkammer steigt in hoher Wölbung, weit über die Höhe der hinteren Nasenöffnungen, ungefähr bis zur Nasenwurzel auf. Der vordere Teil ihres oberen Daches zwischen den Augen besteht aus einer dünnen, wagerechten Knochenplatte, welche wie ein Sieb von vielen kleinen Löchern durchbohrt ist und deshalb die Siebplatte genannt wird (Fig. 63, Cr). Durch diese Platte (und die sie bekleidenden Schleimhäute) allein wird die Nasenhöhle von der Schädelhöhle, welche das Gehirn einschliefst, getrennt. Die Riechlappen, welche unmittelbar mit dem Gehirne verbunden, ja eigentlich ein Teil desselben sind, verbreitern sich an ihren Enden, und diese breiten Ausläufer ruhen auf der oberen Fläche der Siebplatte, durch deren Löcher sie der geruchfähigen Nasenschleimhaut die Riechnerven in zahllosen kleinen Fäserchen zusenden (vgl. Fig. 62).

Auf den Wänden des Septums breitet sich jene Schleimhaut flach aus, aber auf den Seitenwänden der Nasenhöhlen folgt sie den Erhebungen und Senkungen der inneren Flächen, den sogenannten oberen und mittleren Nasenmuscheln. Dieselben sind schwammige Knochen, welche mit Luft gefüllte, nur durch sehr dünne Zwischenwände geschiedene Höhlungen enthalten, die mit den Nasenhöhlen in Verbindung stehen. Deshalb heifsen diese Knochen, welche sehr massiv aussehen und in der That unmein leicht und zart sind, auch wohl die schwammigen Knochen (Fig. 63).

Von diesen beiden zu unterscheiden ist noch ein dritter, dünner, schneckenähnlicher Knochen, welcher am Kieferknochen befestigt ist und die untere Muschel heifst, weil er unterhalb der beiden anderen liegt. Diese trennt die Atmungsluftwege nicht vollkommen von den eigentlichen Riechkammern und ist mit der gewöhnlichen, mit Wimpern besetzten Nasen-

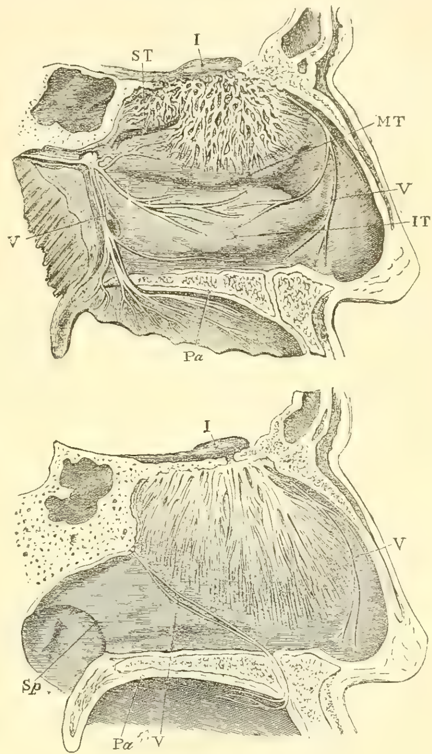


Fig. 62.

Lotrechte Längsschnitte der Nasenhöhle. Die obere Figur stellt die äufsere Wandfläche der linken Nasenhöhle vor; die untere Figur die rechte Seite der mittleren Scheidewand *(Septum narium)*, welche die innere Wand der rechten Nasenhöhle bildet. *I* Der Riechnerv mit seinen Verzweigungen; *V* Zweige des fünften Hirnnerven; *Pa* der Gaumen, welcher die Nasenhöhle von der Mundhöhle trennt; *ST* die obere Nasenmuschel; *MT* die mittlere Muschel; *IT* die untere Muschel. Die Ziffer *I* steht in der Schädelhöhle, und die Scheidewand zwischen dieser und der Nasenhöhle, auf welcher der Riechlappen des Gehirnes aufruht und durch welche die Fasern des Riechnerven hindurchtreten, ist die sogenannte Siebbeinplatte; *Sp* ist die Nasenscheidewand.

schleimhaut bekleidet, welche keine Geruchsnervenfasern enthält (vgl. Fig. 62).

Soweit die Schleimhaut die obere und mittlere Nasenmuschel und den diesen gegenüberliegenden Teil der mittleren Nasenscheidewand überzieht, hat sie einen besonderen Bau; sie wird daher als Riechschleimhaut bezeichnet. In diesem Teil derselben, der Riechgegend (*regio olfactoria*) verbreiten sich die Riechnerven.

Auf dem nicht mit Geruchsinn begabten Teil der Nasenschleimhaut besteht das Epithel aus gewöhnlichen Flimmerzellen (vgl. Vorl. XII); in der Regio olfactoria hingegen sind die Epithelzellen ohne Wimpern und von besonderer Art. Viele derselben sind dünn und lang, stäbchenförmig, und die Enden der Riechnervenfasern scheinen mit diesen modifizierten Zellen in unmittelbarem Zusammenhang zu stehen, so dass wir dieselben als die Nervenendorgane des Geruchsinnes anzusehen berechtigt sind. Die Geruchsschleimhaut nebst den in ihr endigenden Riechnervenfasern stellt also den wesentlichen Teil des Geruchsorgans dar.

14. Was den Hilfsapparat anlangt, so können wir über ihn folgendes sagen:

Aus den beschriebenen Einrichtungen geht hervor, dass unter den gewöhnlichen Umständen die schwachen Luftströme der Ein- und Ausatmung ihren Weg durch die verhältnismäfsig weiten und geraden Gänge des unterhalb der mittleren Muschel liegenden Teiles der Nasenhöhle nehmen, dass aber die Luft in dem engen Raume zwischen der

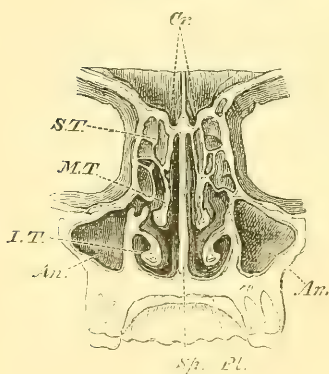


Fig. 63.

Vertikaler Querschnitt durch die knöchernen Wandungen der Nasenhöhle, ungefähr an der Stelle, wo die Ziffer *I* in der vorhergehenden Figur steht. — *Cr.* die Siebbeinplatte; *ST* und *MT* die obere und mittlere Nasenmuschel, auf welchen wie auf der Scheidewand *Sp* die Fasern des Riechnerven sich ausbreiten. *IT* die untere Nasenmuschel; *Pl* der Gaumen; *An* die Highmorshöhle, welche den gröfsten Teil des Oberkieferknochens einnimmt und sich in die Nasenhöhle öffnet.

Nasenscheidewand und den oberen und mittleren Muschelbeinen, der eigentlichen Riechgegend, kaum mitbewegt wird.

Sind die Luftströme mit Teilchen riechender Materien geschwängert, so können diese die mit Geruchsinn begabte Schleimhaut der Riechgegend nur erreichen, indem sie durch Gasdiffusion in diesen engen Raum eindringen. Ist die Anzahl der Teilchen nur gering, so werden sie schwerlich bis zu diesem Teile der Schleimhaut gelangen, wenn nicht die Luft, welche diese umspült, mit der äufseren riechenden Luft ausgetauscht wird. Wenn wir daher einen schwachen Geruch deutlich wahrnehmen wollen, so schnüffeln wir, d. h. wir schnupfen die Luft auf. Jedes Aufschnupfen ist nämlich eine heftige Einatmung, deren Wirkung die Luft in der Riechkammer ebenso schnell oder noch früher als die Luft an den Nasenlöchern etwas verdünnt und dadurch ein wenig Luft aus der Riechgegend von hinten her aussaugt. Gleichzeitig oder unmittelbar darauf dringt die durch die Nasenlöcher eingezogene Luft in einem starken Strome in der Richtung nach oben ein, und ein Teil derselben muss unmittelbar in die Riechgegend gelangen und die von hinten ausgesogene Luft ersetzen.

Der Verlust des Geruches im Verlaufe eines starken Schnupfens rührt hauptsächlich von dem geschwollenen Zustande der die unteren Muscheln bekleidenden Schleimhaut her, indem dadurch der riechenden Luft der Zugang zu der Riechgegend abgeschnitten wird.

15. Das Ohr, das Organ des Gehörsinnes, ist bei weitem verwickelter in seinem Baue als irgend eins der bisher beschriebenen Sinnesorgane. Sowohl der wesentliche Teil als die Hilfsvorrichtungen sind bei ihm hoch entwickelt.

Der wesentliche Teil besteht der Hauptsache nach auf jeder Seite des Kopfes aus einem sehr eigentümlich geformten membranösen Säckchen. In den ersten Stadien der Entwickelung des Ohres ist es ein einfaches, rundes Säckchen; nachträglich nimmt es jedoch eine sehr verwickelte Form an und teilt sich in mehrere Abschnitte, welche mit verschiedenen Namen belegt werden. Es ist eingelagert in einer Höhlung von entsprechend verwickelter Form, welche ausgespart ist inmitten einer dichten und festen (daher Felsenbein genannten) Knochenmasse, welche einen Teil des Schläfenbeines ausmacht und zur Basis des Schädels gehört. Das

Säckchen füllt aber die Knochenhöhlung nicht vollkommen aus, so dass zwischen ihm und der Knochenwand ein enger Raum freibleibt. Dieser Raum, welcher das Säckchen von allen Seiten umgiebt und nur da, wo letzteres an den Knochenwandungen sich anheftet, unterbrochen ist, enthält eine aus den Lymphbahnen der Nachbarschaft stammende Flüssigkeit, die sogenannte Perilymphe.

Der membranöse Sack selber, dessen Wandungen hauptsächlich aus Bindegewebe bestehen, ist mit einem Epithel ausgekleidet und enthält in seinem Innern gleichfalls eine Flüssigkeit, die Endolymphe. Perilymphe und Endolymphe sind also, wie man sieht, vollkommen voneinander getrennt durch die Wandungen des Sackes.

Auf einem grofsen Teil des Innern dieses membranösen Sackes ist das Epithel von einfachem und gewöhnlichem Charakter. Aber an gewissen, gleich näher zu beschreibenden Stellen nimmt es eine besondere Beschaffenheit an; es ist dort dicker, trägt haarähnliche Fortsätze oder ist in anderer Art so modifiziert, dass es selbst durch Bewegungen von so geringer Stärke, wie die Schallschwingungen, affiziert werden kann. Wo diese Stellen modifizierten Epithels vorkommen, da ist die Membran des Sackes fester an den Knochen angeheftet, und Zweige des Hörnerven gelangen durch Kanäle in der Knochenwand, durch das die Verbindung mit dem Säckchen herstellende Bindegewebe und durch die Wand selbst hindurchdringend in das Innere des Säckchens und endigen in eigentümlicher Weise in den modifizierten Zellen selbst, welche deshalb als Hörzellen bezeichnet werden. Nur an den Stellen, wo dieses modifizierte Epithel vorkommt, verbreiten sich die Enden des Hörnerven.

Wie das Hören zu stande kommt, das kann in aller Kürze etwa folgendermafsen beschrieben werden: Die von einem tönenden Körper ausgehenden Schwingungen werden durch den weiter unten zu beschreibenden Hilfsapparat des Gehörorganes zur Perilymphe zugeleitet und von dieser durch die Wandung des membranösen Sackes hindurch auf die Endolymphe übertragen. Wenn die Schwingungen, in der Endolymphe sich fortpflanzend, jene Stellen erreichen, an denen das modifizierte Epithel und die mit diesem verbundenen Enden des Hörnerven sich befinden, so bewirken sie in diesen eine Veränderung. Durch Vermittelung

der Zellen werden die Nervenenden in den Zustand der Thätigkeit versetzt, und die so entstandene Erregung pflanzt sich in den Nerven fort und gelangt schliefslich zu dem Teile des Gehirns, dessen Erregung in uns die Empfindung des Schalles hervorruft.

Bevor die von aufsen zugeleitete Erschütterung die Hörzellen erreicht hat, ist der Vorgang innerhalb der schallleitenden Apparate des Ohres seiner Natur nach nicht verschieden von dem Vorgang der Schwingungen, wie er in tönenden Körpern stattfindet und wie er von solchen auf die benachbarten Körper (Luft u. a.) übertragen wird. Erst wenn diese Erschütterungen auf die besagten Epithelzellen übergehen, ändert er seine Natur. Jetzt handelt es sich nicht mehr um Schallschwingungen; durch Vermittelung der Zellen ist vielmehr in den Nervenenden jener, seinem Wesen nach noch unbekannte Vorgang der Nerventhätigkeit entstanden, wie er durch Reize der verschiedensten Art in Nerven entstehen kann, und dieser wird im Nerven bis zum Gehirn fortgeleitet (vgl. Vorl. V, § 31, und Vorl. VII, § 4).

16. Der schon so oft erwähnte membranöse Sack hat einen verwickelten Bau und besteht aus mehreren Teilen. Wenn man von aufsen her diese Teile blofslegt, so stöfst man zunächst auf einen nahezu ovalen Sack, Sacculus hemi-ellipticus oder Utriculus (Fig. 64, Ut). In diesen öffnen sich drei gekrümmte halbzirkelförmige Bogengänge oder Kanäle. Zwei derselben stehen vertikal, einer nach vorn, der andere nach hinten gerichtet; man nennt sie daher den vorderen und den hinteren halbzirkelförmigen Kanal (*canalis semicircularis anterior* und *posterior*, Fig. 64, P.A und P.V). Der dritte ist horizontal gelagert und nach aufsen

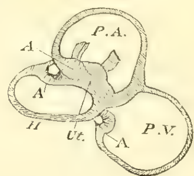


Fig. 64.

Das häutige Labyrinth, zweimal vergröfsert. *Ut* der Utriculus oder der Teil des Vorhofssäckchens, in welchen sich die halbzirkelförmigen Kanäle öffnen; *A*, *A*, *A* die Ampullen; *PA* der vordere lotrechte, *PV* der hintere lotrechte, *H* der wagerechte halbzirkelförmige Kanal. Das halbkugelige Säckchen ist nicht sichtbar, weil es in der gezeichneten Lage hinter dem Utriculus liegt. Die weifsen Kreise an den Ampullen des hinteren lotrechten und des wagerechten Kanales bezeichnen die durchschnittenen Enden der Zweige des Hörnerven, welche in diesen Ampullen endigen; die zur Ampulle des vorderen lotrechten Kanales sowie der zum Utriculus gehende Nervenzweig sind innerhalb jenes Kanales sichtbar.

gerichtet; er heifst deshalb der äufsere halbzirkelförmige Kanal *(canalis semicircularis externus*, Fig. 64, H). Man wird beachten, dass die drei Kanäle in drei aufeinander senkrechten Ebenen im Raume angeordnet sind; doch hat dies keine Beziehung zu der Möglichkeit, die Richtung, aus der ein Schalleindruck kommt, zu erkennen, hat aber möglicherweise für eine andere Funktion dieser Kanäle Bedeutung. Jeder dieser Kanäle ist an einem seiner beiden Enden, nahe seiner Einmündung in den Utriculus, erweitert zu einer sogenannten Ampulle (Fig. 64. A,A.A). Jeder Kanal hat also nur eine Ampulle. Die Enden der beiden vertikalen Kanäle, welche nicht erweitert sind, verschmelzen miteinander (vgl. Fig. 65), ehe sie sich in den Utriculus öffnen.

In jeder Ampulle findet sich eine erhabene, in den Hohlraum der Ampulle vorspringende Leiste *(crista acustica)*, quer zur Längsrichtung der Ampulle gestellt. Die Leisten werden teilweise durch eine Einfaltung und Verdickung der bindegewebigen Ampullenwand gebildet, teilweise durch die gröfsere Dicke des Epithels, welches an diesen Stellen die schon früher erwähnte modifizierte Beschaffenheit hat und sich deshalb von dem übrigen Epithelbelag der Kanäle unterscheidet. Eine ähnliche Anhäufung modifizierten Epithels findet man an einer, gleichfalls verdickten Stelle der Wand des Utriculus, in Form eines ovalen Fleckes, welcher hier den Namen macula acustica führt.

An den Utriculus stöfst ein anderer Teil des ursprünglich einfachen häutigen Sackes, dem Utriculus ähnlich, aber kleiner, das halbkugelige Säckchen *(sacculus hemisphaericus)* genannt. Auch auf seiner Wand findet sich eine Macula acustica von rundlicher Form und ebenso gebaut, wie die des Utriculus. Die Höhlungen des Utriculus und des halbkugeligen Säckchens hängen miteinander nur auf einem Umwege durch einen eigentümlich verlaufenden, engen Kanal zusammen (s. Fig. 65, av).

Das halbeliptische und das halbkugelige Säckchen zusammen werden häufig als Vorhof *(vestibulum)* bezeichnet. Vorhof und die drei Bogengänge zusammen als Labyrinth, und zwar unterscheidet man noch dieses mit Endolymphe gefüllte System von Säckchen unter dem Namen des häutigen Labyrinths von der Knochenhöhlung, in welcher es liegt und von der es durch die Perilymphe getrennt ist. Letztere ist deshalb etwas gröfser.

hat, wenn auch nicht ganz genau, dieselbe Form wie jene und heißt das knöcherne Labyrinth.

Zweige des Hörnerven gelangen zum häutigen Labyrinth und senden Fasern zu den Leisten der drei Ampullen (Fig. 65), sowie zu den Maculae acusticae der Vorhofssäckchen. Auf den, wie schon gesagt, verdickten Leisten und den Maculae sitzt ein gleichfalls verdicktes Epithel von besonderer Art, welches an den Leisten der Bogengänge zwar etwas anders aussieht, als das an den Maculae, aber doch in seinen wesentlichen Zügen an allen diesen Stellen gleich beschaffen ist. Während sonst in den Bogengängen der Epithelüberzug aus einer einzigen Lage ziemlich flacher Zellen besteht (vgl. Fig. 66), giebt es an den Leisten und Flecken mehrere Lagen von verschiedener Tiefe und verschiedener Form. Einige dieser Zellen sind kegel- oder zylinderförmig, andere spindelförmig; entweder die eine oder die andere Art, oder nach der Angabe einiger Forscher auch beide Arten tragen steife, haarähnliche Fortsätze an ihrer Oberfläche (Fig. 66, a.h.A und B), welche in die Hohlräume des Labyrinths hineinragen. Diese Fortsätze, zuweilen als Hörhaare bezeichnet, erinnern an die Wimpern der Flimmerzellen, sie sind aber steif und haben nicht das Vermögen, Bewegungen auszuführen, wie diese. Sie sind länger und ansehnlicher auf den Leisten der Ampullen als auf den Hörflecken der Vorhofssäckchen. Man kann die Fasern des Hörnerven durch die Wandung hindurch bis zu den Leisten

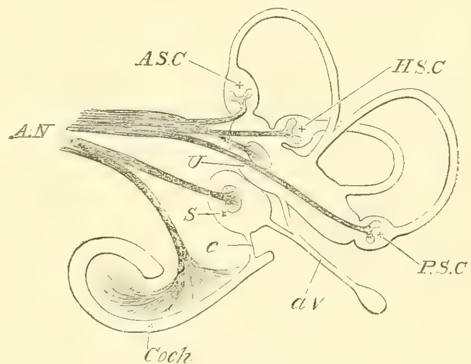


Fig. 65.

Schematische Darstellung der Endigungen des Hörnerven im häutigen Labyrinth und in der Schnecke. *A.N* der Hörnerv; derselbe teilt sich in mehrere Zweige und endigt: bei *A.S.C* in der Ampulle des vorderen vertikalen, bei *P.S.C* in der des hinteren vertikalen, bei *E.S.C* in der des horizontalen Bogenganges. Bei *U* ist die Endigung im halbelliptischen, bei *S* diejenige im halbkugeligen Säckchen dargestellt. *Coch* stellt die Endigung in der Schnecke dar. *a.v* Verbindungskanal der beiden Vorhofssäckchen; *c* Kanal, welcher das halbkugelige Säckchen mit der Schnecke verbindet.

und Flecken hin verfolgen, in denen sie in ein feinfaseriges Netzwerk zwischen den Zellen übergehen (Fig. 66 A, B bei b): doch ist es bis jetzt noch nicht sicher ausgemacht, wie sie schliefslich enden, ob sie sich wirklich mit den kegelförmigen oder den spindelförmigen Zellen verbinden, oder ob sie ihnen nur anliegen.

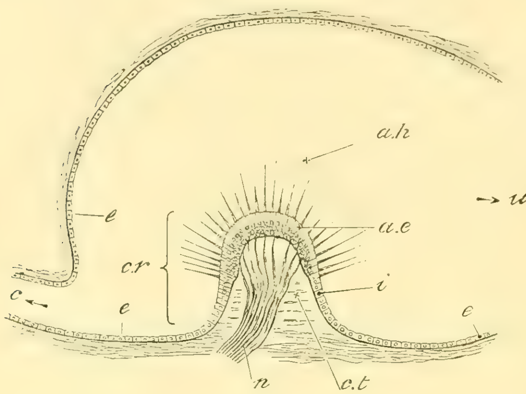
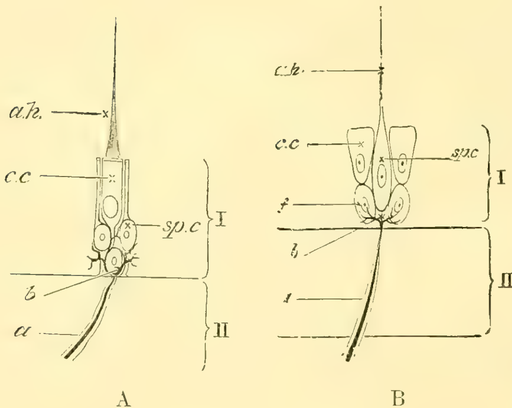


Fig. 66.



A B

Wie dem auch sein möge, es leuchtet ein, dafs die Schwingungen der zum Ohr gelangenden Schallwellen, wenn sie sich in der Endolymphe ausbreiten, diese Haare in Bewegung setzen müssen, wie der Wind die Halme eines Kornfeldes in Bewegung setzt, und dass die Bewegung der Haare durch Vermittelung der Zellen, denen sie aufsitzen,

Längsschnitt durch eine Ampulle, welcher die Leiste quer durchschneidet (etwas schematisch).

c Das eine Ende der Ampulle, welches den Bogengang bildet; *u* das andere Ende, welches in den Utriculus mündet; *e* das gewöhnliche Epithel, wie es den gröfsten Teil der Ampulle auskleidet; *cr* die Leiste (*crista acustica*); *a.e* das Hörepithel derselben; *ah* Hörhaare; *ct* Bindegewebe der Leiste; *n* Fasern des Hörnerven, welche in die Leiste eintreten; *i* Übergangsepithel zwischen dem der Leiste und dem der übrigen Ampulle.

A und B. Schematische Darstellung der Hörzellen des Leistenepithels und der Art ihres Verhaltens zu den Hörhaaren. In beiden Darstellungen, A und B, bedeutet *I* das Hörepithel, *II* das Bindegewebe, auf welchem es aufsitzt, *a* eine

eine Erregung der zarten Nervenfäden des unten befindlichen Nervennetzes bewirken können, welche Erregung sodann zum Gehirn fortgeleitet wird.

In den Vorhofssäckchen, wo die Hörhaare nicht so ansehnlich sind, enthält die Endolymphe eine Anzahl kalkiger Körperchen, die Hörsteinchen oder Otolithen, welche, wie Viele glauben, die Wirkung der Erschütterungen in der Lymphe wesentlich verstärken sollen. Wer beim Baden in ruhiger See auf felsigem Gestade sich flach hinlegt, wird die schwache Bewegung der über ihn hin- und hergehenden Wellen kaum fühlen; beim Baden an sandigem Strand dagegen, wo mit jeder Welle die Sandkörnchen und Kiesel gehoben werden und wieder niederfallen, werden die Nerven der Haut einen sehr entschiedenen Eindruck empfangen. So kann es recht wohl sein, dass die Bewegungen der Hörsteinchen auf ähnliche Weise eine stärkere Erregung der Nervenenden verursachen, als die Wellen der Endolymphe allein hervorbringen könnten. Es giebt jedoch niedere Tiere, bei denen an Stelle jener kleinen Körnchen ein einziger grofser Stein vorhanden ist, der vielleicht eher als ein Dämpfer aufzufassen ist. Wir müssen daher die wahre Bedeutung der Otolithen wohl noch als eine unentschiedene Frage ansehen.

17. Noch einen wichtigen Abschnitt des wesentlichen Apparates des Gehörorgans haben wir zu beschreiben, die Schnecke.

Mit dem halbkugeligen Säckchen durch einen engen Kanal verbunden, erstreckt sich eine Fortsetzung des ursprünglichen membranösen Sackes in der Form einer am Ende geschlossenen, langen Röhre (Fig. 65, coch). Sie ist wie die anderen Teile mit einem Epithel ausgekleidet und mit Endolymphe gefüllt, und gleicht hierin dem Labyrinth; sie unterscheidet sich aber von diesem in anderer Beziehung sehr wesentlich.

Faser des Hörnerven, welche durch das Bindegewebe hindurchtritt und zum Epithel gelangt, wo sie sich (bei *b*) in feine Fäserchen teilt.

In A stellt *cc* eine Zylinderzelle vor, welche ein Büschel feiner Haare, *ah*, trägt, die miteinander einen langen, kegelförmigen Fortsatz bilden; *spc* spindelförmige Zellen ohne Haare.

In B bedeutet *cc* zylindrische Zellen ohne Haare, *spc* eine spindelförmige Zelle mit einem Hörhaar, unten in unmittelbarer Verbindung mit dem Nervennetz; *f* Stützzellen.

In beiden Darstellungen geht die Nervenfaser *a* bis zum Epithel und löst sich dort in das feine Netzwerk *b* auf.

Erstlich folgt im Labyrinth der membranöse Sack in seinen Formen der Gestalt der Knochenhöhle, in welcher er liegt, ziemlich getreu. Macht man z. B. einen Schnitt durch einen der Bogengänge, so zeigt der häutige Kanal einen kreisförmigen Querschnitt, welcher in einem etwas gröfseren, von der Knochenwand gebildeten Kreise liegt. Bei der Schnecke dagegen ist die Gestalt der häutigen Röhre in ihrer ganzen Länge ganz und gar verschieden von der Höhlung, in welcher sie liegt. Während letztere auf einem Querschnitt nahezu kreisförmig erscheint, hat der Querschnitt der Röhre ungefähr die Form eines Dreiecks. Die Röhre im ganzen gleicht in der That einer dreikantigen Feile, d. h. sie hat drei Seiten oder Flächen und drei Kanten; doch ist die eine der drei Flächen konvex, d. h. etwas nach aufsen gewölbt.

Zweitens ist im Labyrinth der häutige Sack an den meisten Stellen nicht an die Knochenwand angeheftet; das ist nur da der Fall, wo die Nerven eintreten, und lockerer an wenigen anderen Stellen. In der Schnecke dagegen hängt der häutige Sack in seiner ganzen Länge an zwei Stellen fest mit dem Knochen zusammen, nämlich an der ganzen konvexen Fläche und an der gegenüberliegenden Kante. Man nehme einen langen, runden Stab, umwickle ihn dicht mit Papier und schliefse denselben an einem Ende. Dann feile man den Stab in seiner ganzen Länge so ab, dass er eine gekrümmte und zwei ebene, in einer Kante zusammenstofsende Flächen erhält, und stecke ihn wieder in die Papierhülse so, dass er nicht ganz bis an das geschlossene Ende reicht. Die so erhaltene Vorrichtung stellt dann die Verhältnisse der Schnecke dar, wobei man sich freilich noch den dreikantigen Stab hohl vorstellen muss. Man bemerkt, dass der Hohlraum der Hülse in zwei Hohlräume abgeteilt worden ist, welche in der ganzen Länge getrennt sind und nur an dem geschlossenen Ende miteinander zusammenhängen. In gleicher Weise teilt die mit Endolymphe gefüllte röhrenförmige Schnecke die von Perilymphe erfüllte Röhre, in welcher sie liegt, in zwei Gänge, die sogenannten Treppen, von denen, wie man in Fig. 67 sieht, die eine oberhalb und die andere unter der dreikantigen Schneckenröhre selbst liegt und welche miteinander nur am Ende dieser Röhre zusammenhängen.

In einem Punkte freilich passt der Vergleich zwischen Schnecke und unserer Vorrichtung ganz und gar nicht. Die

Schneckenröhre ist viel enger als die sie umschliefsende Höhle, und ihre scharfe Kante reicht daher nicht an die Wandung der letzteren. An dieser aber befindet sich eine knöcherne Leiste, welche von der Knochenwand in die Höhle hineinragt bis an die Kante der Schneckenröhre und mit dieser verbunden ist. Diese Leiste bildet also eine Scheidewand, welche die beiden Treppen da, wo die Schneckenröhre das nicht leisten kann, voneinander trennt.

Drittens ist die Schnecke nicht gerade, sondern zu einer Spirale von zwei und einen halben Umgang aufgewunden. Die über und unter ihr gelegenen Hohlräume der Treppen machen diese Windungen gleichfalls mit und ebenso die Knochenleiste, welche deshalb den Namen Spiralplatte *(lamina spiralis)* erhalten hat (Fig. 67 und 68, l. s). Das Ganze erinnert einigermafsen an das Gehäuse einer Schnecke; daher der Name. Überall auf dem ganzen spiraligen Verlauf ist die Kante der Schneckenröhre nach innen die konvexe Fläche nach aufsen gekehrt. Macht man einen Schnitt durch die Axe der Spirale, so werden deshalb mehrere rundliche Räume durchschnitten, in deren jedem oben und unten die ungefähr halbmondförmigen Treppen im Durchschnitt erscheinen, getrennt, an der äufseren Seite durch die Schneckenröhre, an der inneren durch die Lamina spiralis (Fig. 67).

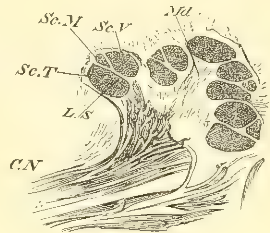


Fig. 67.

Schnitt durch die Axe der Schnecke, dreimal vergröfsert. *ScM* mittlere Treppe; *ScV* Vorhofstreppe; *ScT* Paukenhöhlentreppe; *LS* Spiralplatte; *Md* Spindel oder Axe, um welche die Treppen sich herumwinden; *CN* Schneckennerv.

Der dreikantige Hohlraum, welcher, wie wir gesehen haben, Endolymphe enthält und mit dem halbkugeligen Säckchen zusammenhängt, wird Schneckenkanal *(canalis cochlearis)* oder auch mittlere Treppe *(scala media)* genannt, weil er zwischen den beiden früher erwähnten Treppen, einer oberen und einer unteren, liegt. Letztere beiden enthalten Perilymphe. Verfolgt man die obere bis zum Boden der Spirale, so zeigt sich, dass ihr Hohlraum mit demjenigen zusammenhängt, welcher gleichfalls mit Perilymphe gefüllt ist und die Säckchen des Vorhofes umgiebt; man nennt sie daher die Vorhofstreppe *(scala vestibuli)*. Verfolgt man in gleicher Weise die untere Treppe bis an den

Boden der Spirale, so gelangt man an die innere Wand eines Teiles, welchen wir noch genauer kennen lernen werden, die sogenannte Paukenhöhle; von dieser ist die untere Treppe durch eine runde, mit einer Membran überzogene Öffnung in der Knochenwand, das runde Fenster *(fenestra rotunda)*, abgetrennt. Deshalb nennt man die untere Treppe auch Paukenhöhlentreppe *(scala tympani)*. Diese beiden Treppen gehen also von verschiedenen Stellen aus und sind in ihrem ganzen gewundenen Verlauf voneinander getrennt durch die Schneckenröhre und die Spiralplatte bis an die Spitze der Schnecke, wo die Röhre endet. Hier reichen sie etwas über die mittlere Treppe hinaus und hängen infolgedessen miteinander zusammen, wie man an der Spitze der Fig. 67 sehen kann.

Die Schallschwingungen gelangen, wie wir sehen werden, zu der Perilymphe des Vorhofes und von da einerseits zu den halbzirkelförmigen Kanälen, andererseits zu der Vorhofstreppe. In dieser laufen die Wellen aufwärts zur Spitze, treten dort in die Paukentreppe über und verlaufen in dieser abwärts, um sich am runden Fenster zu verlieren.

18. Neben den geschilderten Abweichungen im Verhalten des Perilymphraumes in der Schnecke von dem im Labyrinth zeigt erstere andere, noch wichtigere Eigentümlichkeiten.

Im Labyrinth gehen die Zweige des Hörnerven, wie wir gesehen haben, nur zu beschränkten Stellen der Membran, nämlich zu den Hörleisten der Ampullen und zu den Hörflecken der beiden Säckchen. Die Schnecke dagegen wird in ihrer ganzen Länge von Nerven versorgt, welche in einem Kanal, der in der knöchernen Spindel enthalten ist, bis zur Spitze emporsteigen, durch feine Kanälchen der knöchernen Spiralplatte zu der häutigen Schnecke gelangen und hier (in der mittleren Treppe also) ihre Endigungen haben, wie dies in Fig. 65 bei Coch schematisch angedeutet ist. Diese Endigungen selbst sind sehr eigentümlich.

Betrachten wir den Querschnitt einer Spiralwindung der Schneckenröhre, so sehen wir, dass ihre obere Wand, diejenige, welche sie von der Vorhofstreppe abschliefst, aus einer dünnen, innen von einem einfachen Epithel bekleideten Haut, der Reissner'schen Membran (Fig. 68, mR) besteht. Auch die äufsere, konvexe Seite der häutigen Schnecke, welche an der Knochenwand fest ange-

wachsen ist, wird nur von einer einfachen Epithellage überzogen. Weder hier noch an der Reissner'schen Membran finden sich irgend welche Endigungen des Hörnerven. An der dritten Seite der Röhre dagegen, welche der Paukentreppe zugewendet ist, ist die ganze innere Fläche ihrer ganzen Länge nach der Sitz eines sehr bemerkenswerten, sonderbar gestalteten Epithels, in welches die Fasern des Hörnerven hineingehen und zwischen den Zellen sich verbreiten. Man nennt dieses modifizierte Epithel das Corti'sche Organ (Fig. 68, OC).

Die Membran, auf welcher das Corti'sche Organ aufsitzt, hat auch eine besondere Beschaffenheit und ist ganz besonders geeignet, in Schwingungen

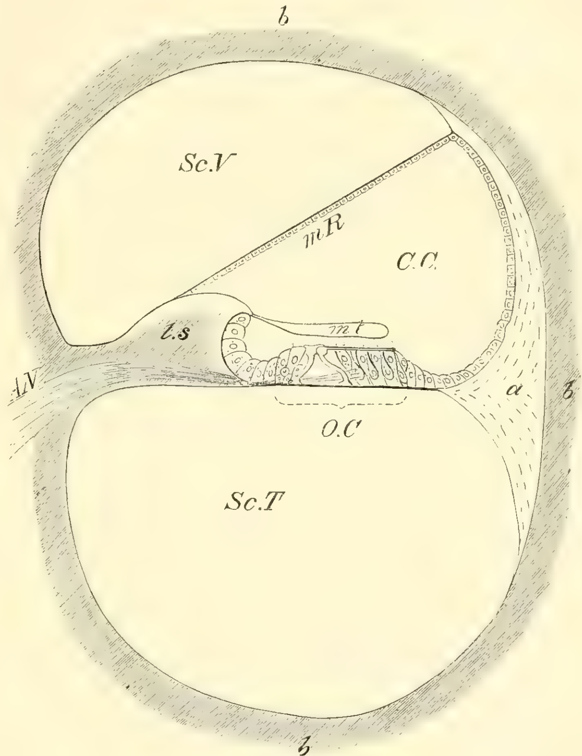


Fig. 68.

Querschnitt durch eine Windung der Schnecke. *Sc V* Vorhofstreppe; *ScT* Paukentreppe; *CC* Schneckenkanal oder mittlere Treppe; *O.C* Corti'sches Organ; *mR* Reissner'sche Membran; *mt* Deckmembran, von gallertiger Beschaffenheit, welche das Corti'sche Organ bedeckt und von Einigen für eine Vorrichtung zur Dämpfung der Schallschwingungen gehalten wird. *AN* Fasern des Hörnerven, welche in der Spiralplatte *ls* verlaufen und im Corti'schen Organ enden. *a* Bindegewebslager, an welches die Grundmembran des Corti'schen Organes nach aufsen angeheftet ist; *b* die Knochenwandung.

Die Figur ist, um sie zu vereinfachen, etwas schematisch gehalten. Die Spiralplatte ist verhältnismäfsig zu kurz gezeichnet. In Fig. 67 ist das Gröfsenverhältnis zwischen ihr und den drei Treppen richtiger dargestellt.

versetzt zu werden. Sie wird als Grundmembran *(membrana basilaris)* bezeichnet. Das Corti'sche Organ besteht aus den sogenannten Corti'schen Stäbchen, eigentümlich gestalteten langen Körpern, von denen je zwei, wie man auf dem Querschnitt sieht, gegeneinander geneigt sind. Auf der ganzen Länge der Membran sitzen, einer dicht neben dem anderen, zwischen vier- und sechstausend solcher Stäbchenpaare, je ein innerer und ein äufserer, welche zusammen einen sogenannten Corti'schen Bogen bilden. Auf der inneren wie auf der äufseren Seite der Stäbchen sitzen, wie diese in Reihen geordnet, eigentümlich gestaltete Epithelzellen, in jeder Reihe mehrere Tausend. Jede Zelle trägt an ihrer freien (oberen) Fläche eine Anzahl kurzer Haare, weshalb man sie die (inneren und äufseren) Haarzellen nennt. Zwischen diesen Zellen, und höchst wahrscheinlich mit ihnen verbunden, sieht man ein Netzwerk feinster Nervenfäden, die Endigungen des Hörnerven.

19. Diese wesentlichen Teile des Gehörorganes, das häutige Labyrinth und der Schneckenkanal, liegen also, wie wir gesehen haben, in Kammern des Felsenbeines, das einen Teil des Schläfenbeines ausmacht.

Im frischen Zustande ist diese Reihe von Höhlungen im Felsenbeine vollkommen geschlossen, aber im trockenen Schädel findet man an der äufseren Wand, d. h. derjenigen, welche der Aufsenfläche des Schädels am nächsten ist, zwei weite Öffnungen, die Fenster

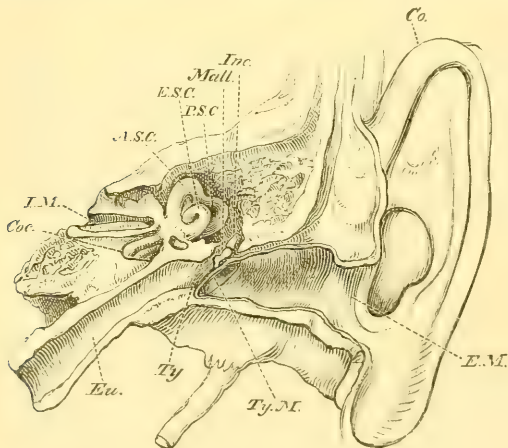


Fig. 69.

Querschnitt durch die Seitenwand des Schädels, um die Teile des Ohres zu zeigen. *Co* Ohrmuschel oder äufseres Ohr; *EM* äufserer Gehörgang; *TyM* Trommelfell; *Inc* Ambos; *Mall* Hammer; *PSC*, *ESC*, *ASC* hinterer, äufserer und vorderer halbzirkelförmiger Kanal; *IM* innerer Gehörgang, durch welchen der Gehörnerv zum Gehörorgane gelangt; *Coc* Schnecke; *Eu* Eustachische Röhre; *Ty* Paukenhöhle.

genannt. Von diesen liegt das eine, das ovale Fenster, in der Wand der Vorhofshöhlung, das andere, das runde Fenster, welches hinter und unterhalb des ersteren liegt, ist das offene Ende der Paukenhöhlentreppe. Im frischen Zustande ist jedes dieser Fenster mit einer Faserhaut überzogen, welche eine Fortsetzung der Knochenhaut darstellt.

Das runde Fenster ist nur durch die Faserhaut geschlossen; aber am ovalen Fenster ist in der Mitte, nur einen schmalen Rand lassend, eine ovale Knochenplatte, die Basis des Steigbügelknochens (*stapes*) befestigt.

20. Die äufsere Wand des bisher beschriebenen inneren Ohres ist von der Aufsenfläche des Schädels noch weit entfernt. Zwischen ersterem und der sichtbaren Öffnung des Ohres erstrecken sich in gerader Linie erstens die Pauken- oder Trommelhöhle (*tympanum*), zweitens der lange äufsere Gehörgang (*meatus auditorius externus*, Fig. 69).

Die Trommelhöhle und der äufsere Gehörgang würden nur einen Hohlweg bilden, wäre nicht eine zarte Membran, das Trommelfell (*membrana tympani*), in schräger Richtung so querdurch ausgespannt, dafs sie die verhältnismäfsig kleine Trommelhöhle von dem äufseren Gehörgange trennt (Fig. 69, TyM).

Das Trommelfell verhindert also jegliche Verbindung der Trommelhöhle mit der Aufsenluft vermittelst des äufseren Gehörganges; aber eine solche Verbindung ist, wenn auch auf einem Umwege, vorgesehen durch die Eustachi'sche Röhre oder Trompete (*tuba Eustachii*), welche unmittelbar aus dem Vorderteile der Trommelhöhle (vergl. Fig. 69, Eu) nach

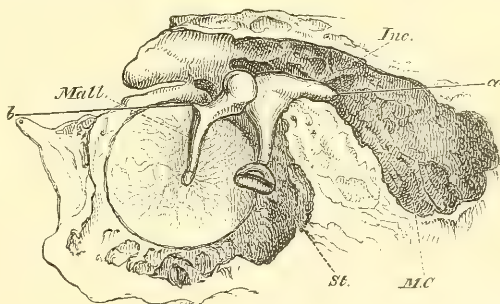


Fig. 70.

Das Trommelfell, von innen gesehen, mit den Gehörknöchelchen, und die Wände der Trommelhöhle mit den Luftzellen im Zitzenfortsatze des Schläfenbeines. *MC* Luftzellen des Zitzenfortsatzes; *Mall* Hammer; *Inc* Ambos; *St* Steigbügel; *a,b* wagerechte Axe, um welche die Drehungen des Hammers und des Ambos stattfinden.

innen bis unter die Decke der Rachenhöhle führt und sich dort öffnet.

21. Drei kleine Knochen, die Gehörknöchelchen, haben in der Trommelhöhle ihren Sitz. Der eine heifst nach seiner Gestalt der Steigbügel (*stapes*). Seine Fufsplatte ist, wie schon gesagt, an der Membran des ovalen Fensters befestigt, während sein Bogen nach aufsen in die Trommelhöhle hineinragt (Fig. 70).

Ein anderer dieser Knochen ist der Hammer (*malleus*), dessen langer Stiel an der inneren Seite des Trommelfelles befestigt ist (Fig. 69, 70, 71). Sein kurzer Fortsatz hingegen und der Körper des Hammers sind durch Bänder an der Wand der Trommelhöhle angeheftet. Die abgerundete Oberfläche des Hammerkopfes passt in eine entsprechende Vertiefung am anderen Ende eines dritten Knöchelchens, des Ambos (*incus*) und bildet mit diesem ein ganz eigenartiges Gelenk. Der Ambos hat gleichfalls zwei Stiele (Fortsätze). Der eine dieser Fortsätze ist wagerecht und an der Wandung der Trommelhöhle befestigt, während der längere, senkrechte, fast parallel mit dem langen Stiele des Hammers nach unten verläuft und mit dem Steigbügel durch einen kleinen linsenförmigen Zwischenknochen (*os orbiculare*) zu einem Gelenke verbunden ist (vgl. Fig. 70 und 71).

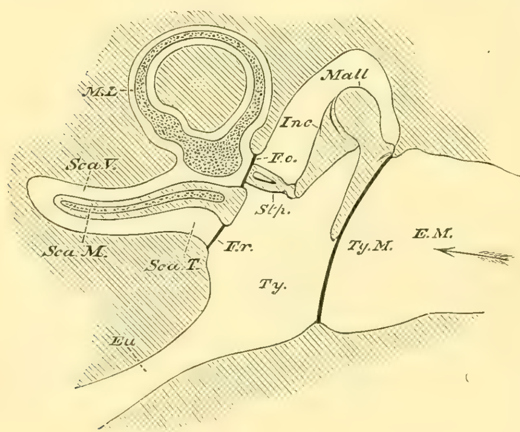


Fig. 71.

Auf diese Weise bilden die drei Knöchelchen eine bewegliche Kette zwischen dem ovalen Fenster und dem Trommelfelle. Hammer und Ambos sind durch das er-

Schematische Darstellung der Anordnung der einzelnen Teile des Ohres. *EM* äufserer Gehörgang; *TyM* Trommelfell; *Ty* Trommelhöhle; *Mall* Hammer; *Inc* Ambos; *St* Steigbügel; *Fo* ovales Fenster; *Fr* rundes Fenster; *Eu* Eustachi'sche Röhre; *ML* häutiges Labyrinth, von welchem nur ein Bogengang mit seiner Ampulle dargestellt ist; *ScaV*, *ScaM*, *ScaT* die drei Treppen der Schnecke, der Einfachheit wegen gestreckt dargestellt.

wähnte besondere Gelenk derart verbunden, dass man sie sozusagen als ein einziges Knöchelchen betrachten kann, welches sich um eine wagerechte Axe dreht, deren beide Enden, von dem wagerechten Fortsatze des Ambos und dem kurzen Stiele des Hammers gebildet, an den Wänden der Trommelhöhle ruhen. Die Hauptrichtung dieser Axe wird durch die Linie *ab* in Fig. 70 dargestellt oder durch eine Linie, welche in Fig. 71 durch den Kopf des Hammers lotrecht auf die Ebene des Papieres fallend gedacht wird.

Die beiden Knöchelchen verhalten sich zueinander etwa wie zwei Speichen eines Rades, dessen Axe mit der eben beschriebenen Axe zusammenfällt; aber die eine Speiche, der Ambos, ist kürzer als die andere, durch den Hammer dargestellte, und die Beweglichkeit der beiden Speichen ist auf einen sehr kleinen Kreisbogen beschränkt.

Wenn durch Schallwellen, welche durch den äufseren Gehörgang zum Trommelfell gelangen, dasselbe veranlasst wird, hin- und herzuschwingen, so muss bei jeder Einwärts- und Auswärtsbiegung der Stiel des Hammers jede Bewegung mitmachen. Dies verursacht eine entsprechende Bewegung des langen Ambosfortsatzes, dessen anderes Ende nun den Steigbügel ebenfalls hin- und herzieht. Und da letzterer an der Membran des ovalen Fensters befestigt ist, welche mit der Perilymphe in Berührung ist, so muss notwendig auch die ganze Masse dieser Flüssigkeit in Schwingungen geraten, indem jeder Stofs des ovalen Fensters nach innen durch einen dem entsprechenden Stofs des runden Fensters nach aufsen und umgekehrt ausgeglichen wird.

Die also hervorgebrachten Schwingungen der Perilymphe teilen sich der Endolymphe, durch diese den Gehörhaaren und damit den Epithelien des Labyrinthes und der Schnecke mit; von letzteren werden dann schliefslich die Gehörnerven selbst erregt.

22. Die Art und Weise, in welcher eine Membran schwingt, und die Leichtigkeit, mit welcher sie Schwingungen, die ihr durch die Luft zugeleitet werden, aufnimmt, kann innerhalb weiter Grenzen verändert werden durch die gröfsere oder geringere Spannung der Membran. Nun giebt es in der Paukenhöhle zwei kleine, aber verhältnismäfsig kräftige Muskeln. Der eine, Steigbügelmuskel (*M. stapedius*) genannt, verläuft vom

Boden der Trommelhöhle zu dem linsenförmigen Knöchelchen (*os orbiculare*), der andere, der Trommelfellspanner (*M. tensor tympani*), entspringt an der vorderen Wand der Trommelhöhle und setzt sich am Hammer an. Jeder dieser Muskeln spannt, wenn er sich zusammenzieht, diejenige Membran, mit welcher er mittelbar zusammenhängt, der Tensor tympani das Trommelfell und der Stapedius die Membran des ovalen Fensters. Die Wirkung einer solchen Spannung besteht wahrscheinlich darin, die Schwingungen der Membranen, wenigstens für tiefere Töne, zu beschränken.

23. Das äufsere Ende des äufseren Gehörganges ist von der Muschel (*concha*) oder dem äufseren Ohre umgeben (vgl. Fig. 69, Co). Dieselbe ist eine breite, eigentümlich gestaltete und zum gröfsten Teile aus Knorpelgewebe gebildete Schale, deren Durchmesser mit der Axe des Gehörganges einen rechten Winkel beschreibt. Durch Muskeln, welche von der Seite des Kopfes kommen, kann die Muschel bei den meisten Tieren und bei manchen Menschen in verschiedenen Richtungen bewegt werden; doch haben nur wenige Menschen diese Muskeln hinlänglich geübt, um jene Bewegungen willkürlich ausführen zu können.

24. Es soll nun betrachtet werden, auf welche Weise die Vermittelung zwischen der physischen Ursache, welche die Schallempfindung veranlasst, und der Nervenausbreitung, deren Reizung allein nur diese Empfindung erregen kann, zu stande kommt.

Alle Körper, welche Schall hervorbringen, befinden sich in einem Zustande des Schwingens; sie teilen die Schwingungen ihrer eigenen Substanz der sie berührenden Luft mit und versetzen auf diese Art die Luft in eine wellenförmige Bewegung, gerade wie ein im Wasser hin- und hergeschwungener Stock im Wasser Wellen erregt.

Die Luftwellen, welche durch die Schwingungen tönender Körper hervorgebracht werden, treten teilweise in den äufseren Gehörgang ein, teilweise treffen sie die Ohrmuschel und die äufsere Fläche des Kopfes. Es kann sein, dass auch von diesen letzteren Eindrücken einige durch die feste Masse des Schädels dem Gehörorgane zugeführt werden, aber ehe sie es erreichen, müssen sie unter gewöhnlichen Umständen so schwach

geworden sein, dass sie wohl nicht mehr in Betracht kommen dürften.

Die Luftwellen, welche in den äufseren Gehörgang eindringen, stofsen alle auf das Trommelfell und versetzen es in Schwingungen, zumal gespannte Häute und ganz besonders solche von der Form des Trommelfelles mit grofser Leichtigkeit die Schwingungen der Luft aufnehmen.

25. Die so im Trommelfelle erzeugten Schwingungen werden teilweise der Luft in der Trommelhöhle und teilweise dem Hammer und hierdurch den anderen Gehörknöchelchen mitgeteilt.

Die Schwingungen der Luft in der Trommelhöhle stofsen an die innere Wand derselben, auf deren gröfseren Teil sie wegen der Festigkeit der Wandungen nur wenig Wirkung haben können. Nur wo diese Wand durch die Membran des runden Fensters gebildet wird, kann die Fortpflanzung der Bewegung eine etwas gröfsere sein. Doch kann auch dieser Anteil unberücksichtigt bleiben.

Die dem Hammer und der Kette von Gehörknöchelchen mitgeteilten Schwingungen können von zweierlei Art sein; entweder findet ein Schwingen der kleinsten Teilchen der Knöchelchen statt, oder dieselben schwingen als ein Ganzes. Wenn man einen Holzbalken frei aufhängt und mit einer Nadel kratzt, so werden seine Teilchen in einen schwingenden Zustand versetzt, wie man an dem entstehenden Tone deutlich wahrnimmt; aber der Balken selbst bleibt bewegungslos. Wenn jedoch ein starker Windstofs den Balken trifft, wird er als ganzer Körper hin- und herschwingen, ohne dass seine Teilchen gegeneinander schwingende Bewegungen machen. Führt man endlich mit einem Hammer einen scharfen Schlag gegen den Balken, so wird er nicht nur einen Ton von sich geben, welcher beweist, dass seine Teilchen schwingen, sondern er wird auch, durch den auf die ganze Masse ausgeübten Anstofs, als Ganzes in schwingende Bewegung versetzt werden.

In dem letzten Falle würde ein dabeistehender Blinder nur zum Bewusstsein des Tones gelangen, welcher durch die unsichtbaren Teilchen-Schwingungen des Balkens erzeugt wird; während ein Tauber, der an derselben Stelle stände, nichts als das sicht-

bare Schwingen des ganzen Balkens (wie es auch vom Winde bewirkt wird) wahrnehmen könnte.

26. Kehren wir nun zu der Kette der Gehörknöchelchen zurück, so scheint es kaum zweifelhaft, dass, wenn das Trommelfell schwingt, jene sowohl als ein Ganzes als auch in ihren Teilchen ins Schwingen geraten, und es entsteht nun die Frage, ob es die grofsen Schwingungen oder die kleinen (molekularen) sind, die sich dem Gehörnerven, welcher hier die Stelle des Blinden oder Tauben einnimmt, bemerklich machen.

Die genauere Betrachtung erweist sich der Annahme günstig, dass die Schwingungen der ganzen Knochen die hauptsächlichen Vermittler bei Übertragung des Eindruckes der Luftwellen sind.

Denn erstens spricht die Beschaffenheit dieser Knochen und die Art ihrer Gelenkverbindung sehr gegen die Annahme einer Übertragung molekularer Schwingungen durch ihre Substanz, während sie andererseits für das Schwingen als Ganzes äufserst günstig angelegt sind. Die langen Fortsätze des Hammers und des Ambos schwingen wie Pendel um die von ihren kurzen Fortsätzen gebildete Axe; während die Art, wie der Ambos mit dem Steigbügel und letzterer mit den Rändern des ovalen Fensters verbunden ist, letzterem Knochen zur Bewegung nach innen und nach aufsen freies Spiel gestattet. Zweitens ist die Gesamtlänge aller Gehörknöchelchen sehr klein im Vergleiche zur Länge der Wellen hörbarer Töne, und physikalische Betrachtungen belehren uns, dass in einem kurzen Stabe, der auf gleiche Weise der Schwingung als Ganzes fähig wäre, die molekularen Schwingungen unmerklich sein würden. Drittens haben Versuche an dem Gehörorgan von Leichen, an welchem man die Trommelhöhle eröffnet und in die Gehörknöchelchen einen leichten, aber steifen Draht befestigt hatte, gezeigt, dass die Knöchelchen wirklich als Ganzes und stets mit derselben Schwingungszahl wie das Trommelfell schwingen, wenn letzteres von Schwingungen der Luft getroffen wird.

27. Es ist also Grund vorhanden, anzunehmen, dass das Trommelfell, wenn es in Schwingung versetzt wird, den daran befestigten Fortsatz des Hammers in demselben Rhythmus zu schwingen veranlasst; infolgedessen dreht sich dann der Kopf des Hammers in einem kleinen Bogen um seine Axe, den kurzen

Fortsatz. Wenn sich aber der Kopf des Hammers bewegt, wird der Körper des Ambos gleichfalls um seine Axe, den kurzen Fortsatz, gedreht. Hieraus folgt, dass der lange Eortsatz des Ambos die gleiche Anzahl von Schwingungen ausführt. Die Länge dieses Fortsatzes, von der Axe bis zur Spitze gemessen, ist geringer als die des Hammerhandgriffes; daher legt er bei der Schwingung einen kleineren Weg zurück. Der Bogen, in welchem er schwingt, beträgt schätzungsweise etwa zwei Drittel des von dem Stiele des Hammers beschriebenen. Die Gröfse des Ausschlages ist also etwas verringert, aber die Kraft des Stofses in demselben Mafse gröfser geworden, was bei der Enge des Raumes nur für vorteilhaft erachtet werden kann. Der lange Fortsatz des Ambos ist aber so an dem Steigbügel befestigt, dass er nicht schwingen kann, ohne diesen in demselben Rhythmus und in entsprechendem Umfange abwechselnd aus dem ovalen Fenster fortzuzerren und in dasselbe hineinzustofsen. Ein jedesmaliges Zerren und Stofsen bewirkt nun aber eine entsprechende Reihe von Erschütterungen in der Perilymphe, welche das knöcherne Labyrinth und die Schnecke, aufserhalb des häutigen Labyrinths und der Scala media, erfüllt. Diese Erschütterungen teilen sich der Endolymphe und der Flüssigkeit in der mittleren Treppe mit und werden mit Hilfe der eigentümlichen Endapparate in der Schnecke und dem Labyrinth zu Eindrücken, welche als Reize auf die Endungen der Vorhof- und Schneckenäste des Gehörnerven einwirken.

28. Welcher Art die Veränderungen in den Epithelzellen der Hörflecke in den Vorhofssäckchen, der Hörleisten in den Ampullen der Bogengänge und im Corti'schen Organ sind, welche durch die Schwingungen der Endolymphe veranlasst werden, das wissen wir nicht. Auch können wir nicht genauer angeben, wie jene Veränderungen in den Epithelzellen zur Erregung der Nervenenden führen. Das aber ist unzweifelhaft, dass der so fein ausgebildete Apparat der Schnecke wie der einfachere des Labyrinths sozusagen die Aufgabe haben, die tönenden Schwingungen, welche zu ihnen gelangen, in Nervenerregungen zu übersetzen, welche dann in den Fasern des Hörnerven weiter geleitet werden, zu gewissen Teilen des Gehirnes gelangen und in diesen Veränderungen hervorrufen, welche uns als „Schallempfindung“ zum Bewusstsein kommen. Wir können sagen, der

Hörnerv (und dasselbe gilt ähnlich auch für die anderen Sinnesnerven) habe zwei „Endorgane“: ein peripheres (der Apparat der Schnecke und des Labyrinths), durch welches das physikalische Agens (die Schwingungen) befähigt wird, eine Nervenerregung zu bewirken; und ein centrales, im Gehirn, in welchem die Nervenerregung denjenigen Bewusstseinszustand hervorruft, welchen wir „Hören“ nennen. Dieses centrale Endorgan pflegt man das „Hörcentrum“ oder die „Hörsphäre“ des Gehirnes zu nennen.

Zwischen den tönenden Körper und dem schliefslichen Hören des Schalles schiebt sich also eine Kette verschiedenartiger Vorgänge ein. Da haben wir zunächst die schwingenden Bewegungen des tönenden Körpers, welche sich durch die Luft, das Trommelfell, die Perilymphe und die Endolymphe fortpflanzen. Sie sind alle ihrem Wesen nach gleich, Bewegungen materieller Teilchen, physikalische Vorgänge. Dann kommen die Veränderungen in den peripheren Endorganen, den Apparaten der Schnecke und des Labyrinths. Diese sind von den vorigen verschieden; sie gehen auch in materiellen Teilchen vor sich, aber wir vermögen nichts genaueres über sie auszusagen; sie sind physiologische Vorgänge. Nun folgen die molekularen Veränderungen, welche die Fortleitung der entstandenen Erregung im Hörnerven ausmachen — gleichfalls materielle und gleichfalls physiologische Vorgänge, aber doch von anderer Art als die vorigen. Endlich kommen die Veränderungen im Gehirn, welche zwar auch in Nervensubstanz sich abspielen, aber doch von anderer Art sind als die vorigen und wahrscheinlich selbst aus einer ganzen Reihe von Vorgängen bestehen, welche schliefslich in der Empfindung und dem Bewusstsein, psychischen Vorgängen, ihr Ende erreichen.

29. Der Unterschied zwischen den Verrichtungen des häutigen Labyrinths, in welchem sich der Vorhofsnerv verzweigt, und denen der Schnecke ist zwar nicht mit vollkommener Sicherheit festgestellt worden, indessen haben die folgenden Angaben einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit.

Jeder Schall kommt, wie wir gesehen haben, durch Schwingungen zu stande. Zuweilen folgen die Schwingungen mit grofser Regelmäfsigkeit aufeinander. Wenn dies der Fall ist, so nennt man die hierdurch entstehende Schallempfindung

einen musikalischen Klang oder Ton. In anderen Fällen dagegen sind die einander folgenden Schwingungen ungleich in der Zeitfolge und in ihrem Verlauf; wenn solche Schalleindrücke das Ohr treffen, so entsteht eine andere Art von Empfindung, welche man als Geräusch bezeichnet.

Wenn wir musikalische Klänge oder Töne hören, so haben wir je nach der Anzahl der in der Zeit aufeinanderfolgenden, regelmäſsig wiederkehrenden Schwingungen verschiedenartige Empfindungen, welche wir als Tonhöhen bezeichnen Klänge von verschiedener Höhe, welche nacheinander gehört werden, bilden eine Melodie; gleichzeitig ertönende Klänge können den Eindruck der Harmonie oder Disharmonie machen.

An den Geräuschen können wir, je nach der Stärke der Schwingungen, Unterschiede der Intensität wahrnehmen, nach denen wir die Geräusche als stark oder schwach, laut oder leise bezeichnen. Auſserdem haben manche Geräusche auch bestimmte Charaktere, an denen wir sie erkennen. Niemals aber erwecken sie in uns die Empfindung der Tonhöhe (auſser, wenn sie von Tönen begleitet sind) und können demnach auch nicht Melodie und Harmonie erzeugen.

Nun hat man die Vermutung aufgestellt, dass die Einrichtungen der Schnecke derartig seien, dass musikalische Töne ihre Nerven erregen können und dadurch in dem Centralorgan die Tonempfindung hervorrufen, während die Nervenenden im Labyrinth leicht durch Geräusche erregt werden, so dass die centralen Endigungen der von dort ausgehenden Fasern des N. vistibuli im Gehirn diese Art von Empfindungen vermitteln.

In der That machen die folgenden Betrachtungen die eben vorgetragene Annahme, wenigstens was die Schnecke anlangt, sehr wahrscheinlich.

30. Die Schwingungen, welche wir als Klänge empfinden, können zwar sehr verschieden sein. In ihrer einfachsten Form aber erregen sie in uns die einfache Empfindung eines Tones, dessen Höhe einzig und allein von der Anzahl der mit regelmäſsiger Gleichförmigkeit in der Zeiteinheit sich wiederholenden Schwingungen bedingt ist. In der Regel aber sind die regelmäſsigen Schwingungen nicht so einfach, sondern können aufgefasst werden als eine Reihe solcher einfacher Schwingungen, welche gleichzeitig erfolgen. Was dadurch entsteht, nennt man

zum Unterschied von dem einfachen Ton einen musikalischen Klang; und in einem solchen kann man, entsprechend den zusammensetzenden einfachen Schwingungen, eine Anzahl von Teiltönen unterscheiden, deren einer, und zwar der tiefste, Grundton, die anderen die Obertöne genannt werden.

Wenn eine Stimmgabel in Schwingungen versetzt wird, so giebt sie eine bestimmte, von ihrem Bau abhängige Zahl von Schwingungen; sie giebt daher einen bestimmten Ton, dessen Höhe von der Zahl der in einer Sekunde erfolgenden Schwingungen abhängt. Jede Stimmgabel hat deshalb eine bestimmte Höhe, ihren Eigenton. Nun gerät eine Stimmgabel in Schwingung, wenn der gleiche hohe Ton in ihrer Nähe angegeben wird, aber nicht durch Töne von anderer Höhe. Wenn daher ein einfacher Ton in der Nähe einer grofsen Anzahl von Stimmgabeln, deren jede auf einen anderen Eigenton abgestimmt ist, angegeben wird, so wird nur diejenige Stimmgabel mitschwingen, deren Eigenton mit jenem übereinstimmt; die anderen werden in Ruhe bleiben. Wenn ein musikalischer Klang, wie ihn z. B. die menschliche Stimme giebt, erklingen würde in der Nähe jener Stimmgabeln, so würden mehrere Stimmgabeln mittönen können, nämlich diejenigen, deren Eigentöne den einzelnen Teiltönen des Klanges entsprechen. Dasselbe geschieht auch mit den Saiten eines Klaviers; öffnet man den Deckel, hebt die Dämpfer, damit die Saiten frei schwingen können, und singt laut in das Klavier hinein, etwa den Ton c, so geraten eine Anzahl von Saiten ins Schwingen, und zwar alle die, deren Töne mit Teiltönen des c zusammenfallen.

Denken wir uns eine sehr grofse Zahl von Stimmgabeln, jede auf einen anderen Ton abgestimmt, so angeordnet, dass jede Gabel, wenn sie in Schwingungen gerät, auf irgend eine Weise eine mit ihr verbundene Nervenfaser erregen müsste, so ist es einleuchtend, dass jeder musikalische Klang, welcher in ihrer Nähe ertönt, eine Anzahl von ihnen, und zwar ganz bestimmte, in Schwingungen versetzen würde, einige stärker, andere schwächer, je nach der Beschaffenheit des Klanges. Dementsprechend würde eine gewisse Anzahl von Nervenfasern, und zwar wiederum ganz bestimmte, erregt werden, jede mit einer bestimmten Stärke. Und somit würde eine gewisse Anzahl von einzelnen, abgestuften Erregungen, genau entsprechend der Art des ge-

sungenen Tones, seiner Zusammensetzung aus Grundton und Obertönen, zum Gehirn gelangen und dort eine bestimmte Empfindung hervorrufen.

Nun hat man die Vermutung ausgesprochen, dass die Grundmembran des Corti'schen Organs, welche aus tausenden von Fasern besteht, die in der Richtung von innen nach aufsen (von links nach rechts in Fig. 68) ausgespannt sind, mit ihren tausenden von Corti'schen Stäbchen und Zellen einen solchen Apparat vorstelle, vergleichbar ebenso vielen tausenden von Stimmgabeln oder Saiten, deren jede mit einer besonderen Nervenfaser verbunden ist. Nach dieser Vorstellung würde jeder einfache Ton nur eine ganz bestimmte Stelle der Grundmembran, jeder zusammengesetzte Klang eine bestimmte Anzahl solcher Stellen in Schwingungen versetzen, nämlich diejenigen, deren Eigenschwingungen mit denen der durch die Endolymphe zugeführten einfachen Schwingungen übereinstimmen und so die Erregung ganz bestimmter Nerven veranlassen. Und diese wieder würde im Gehirn eine Anzahl von Empfindungen verursachen, welche wir mit dem musikalischen Klang, durch den sie hervorgerufen werden, in unserer Vorstellung verbinden.

Wir wissen, wie schon bemerkt, sehr wenig genaueres von dem Endorgan der Hörnerven im Gehirn. Aber soviel können wir wohl sagen, dass jede Faser des Hörnerven nur mit einem bestimmten Nervenelement im Gehirn verbunden ist und deshalb nur eine bestimmte Art von psychischer Wirkung hervorbringen kann, die wohl in ihrer Stärke, nicht aber in der Art der uns zum Bewusstsein kommenden Empfindung verschieden sein kann. Unter diesen Umständen wäre jede Faser des N. cochlearis mit zwei Endorganen verbunden, einem peripheren, welches nur durch eine bestimmte Art von Schwingungen erregt werden kann, und einem centralen, welches nur eine Art von Empfindung hervorrufen kann. Da nun also jede solche Empfindung immer bei einer und derselben Art der äufseren Einwirkung wiederkehrt, so erkennen wir aus der ersteren die letztere. Zwar werden wir uns der Empfindungen nicht in der Art bewusst, dass wir die in getrennten Teilen der centralen Endorgane entstehenden auch immer getrennt wahrnehmen; wir können auch nicht behaupten, dass wir gerade soviel unter-

schiedene Arten von Empfindungen haben, als gesonderte Endorgane vorhanden sind, zumal wir die Zahl der ersteren nicht anzugeben vermögen. Während der periphere Mechanismus in der Schnecke die zusammengesetzten Schwingungen, aus denen die musikalischen Klänge bestehen, sozusagen zerlegt und ihre Bestandteile getrennt zum Gehirn befördert, so verschmilzt umgekehrt der centrale Mechanismus einzelne Empfindungen miteinander und formt aus ihnen gemischte, welche uns als einfache erscheinen.

Alles das ist in hohem Grade wahrscheinlich. Aber wir wissen nicht genauer anzugeben, in welcher Weise die einzelnen Teile des Corti'schen Organes so eingerichtet sind, dass sie durch ihre Schwingungen die Nervenfasern erregen. Es scheint, dass letztere in den „Haarzellen“ endigen, und dass demnach diese Zellen dabei mitwirken. Die Corti'schen Stäbchen stehen nicht mit den Nervenenden in Verbindung; sie können auf letztere wohl nur durch Vermittelung der Haarzellen wirken. Vielleicht spielen sie auch die Rolle von Stegen, welche die Grundmembran spannen und dadurch die genaue Abstimmung jeder Stelle ermöglichen.

31. Die Fasern des Schneckennerven können auch durch innere Ursachen, wie durch den wechselnden Andrang des Blutes und ähnliche Zustände erregt werden. Bei einigen Personen rufen solche innere Ursachen wahre musikalische Phantasievorstellungen, zuweilen von sehr verschiedenem Charakter hervor. Aber für die Erkenntnis aufser uns hervorgebrachter Musik hängen wir von der Vermittelung der mittleren Treppe und ihres Corti'schen Organes ab.

32. Es ist schon erklärt worden, dass der Steigbügelmuskel *(M. stapedius)* und der Trommelfellspannmuskel *(M. tensor tympani)* im stande sind, die Membranen des ovalen Fensters und des Trommelfelles straffer zu spannen, und es ist wahrscheinlich, dass sie in Thätigkeit kommen, wenn Schalleindrücke zu heftig sind und zu ausgedehnte Schwingungen dieser Membranen verursachen würden. Sie sind also vielleicht von Nutzen, um die Wirkung von starkem Schalle zu mäfsigen, in ähnlicher Weise wie die Zirkelfasern der Regenbogenhaut durch Zusammenziehung die Wirkung starken Lichtes auf das Auge mäfsigen

(vgl. folgende Vorlesung). Doch könnten sie vielleicht auch eine ganz andere Bedeutung haben.

Die Aufgabe der Eustachi'schen Röhre *(tuba Eustachii)* ist es wahrscheinlich, die Luft in der Trommelhöhle, oder an der inneren Wand des Trommelfelles immer auf nahezu gleicher Spannung mit der auf der äufseren Seite zu erhalten, was nicht der Fall sein könnte, wenn die Trommelhöhle eine geschlossene Höhle wäre.

NEUNTE VORLESUNG.

Das Sehorgan.

1. Bei der Untersuchung des Organes des Gesichtssinnes, des Auges, muss man sich bekannt machen: erstens, mit dem Baue und den Eigenschaften der empfindungsfähigen Ausbreitung, in welcher der Sehnerv endigt; zweitens, mit der physikalischen Ursache der Empfindung, und drittens, mit dem Vermittelungsapparat, durch welchen die physikalische Ursache bei ihrer Einwirkung auf die Nervenausbreitung unterstützt wird.

Der Augapfel ist ein kugeliger Körper, welcher in einer hierzu bestimmten Kammer des Schädels, der Augenhöhle *(orbita)*, sich frei bewegt.

Der Sehnerv, der seine Wurzel im Gehirne hat, verlässt die Schädelhöhle durch ein Loch an der hinteren Wand der Augenhöhle und tritt von hinten in den Augapfel, aber nicht in der Mitte, sondern ein wenig näher der inneren, der Nase zugekehrten Seite. Er durchbohrt dort die äufsere Hülle des Augapfels und breitet sich auf der inneren Fläche des Augapfels in einer sehr zarten Haut aus, die Netzhaut *(retina)* genannt wird. Sie erstreckt sich nach vorn nahe bis zum Rande der Krystalllinse und hat eine Dicke, welche etwa zwischen 0,1 und 0,3 mm schwankt. Die Netzhaut ist die einzige Endigung von Empfindungsnervenfasern, deren Erregung Lichtempfindung vermittelt, was auch die Ursache der Erregung sei.

2. Wenn der Augapfel durch einen Querschnitt in eine vordere und eine hintere Hälfte geteilt wird, so sieht man, dass die Netzhaut gleich einer Haut von grofser Zartheit, meist gleichmäfsigem Aussehen und glatter Oberfläche, die hohle Wand der hinteren Halbkugel auskleidet. Nur gerade in der Mitte der

hinteren Wand sieht man, besonders deutlich freilich nur an einem ganz frischen Auge, eine seichte, kreisrunde Einsenkung von gelblicher Farbe, den gelben Fleck (*macula lutea*, Fig. 73, ml), und nicht weit von diesem, an der inneren, der Nase zugekehrten Seite des Augapfels eine weiſse, rundliche und strahlig sich verlaufende Stelle, welche den Eintritt des Sehnerven und die Ausbreitung seiner Fasern in der Netzhaut bezeichnet.

3. An einem dünnen Schnitt durch die Netzhaut, senkrecht auf ihre Fläche an irgend einer Stelle auſserhalb des gelben Fleckes und des Sehnerveneintrittes, kann man die Bestandteile unterscheiden, welche in Fig. 72 gesondert dargestellt sind. Die eine der beiden Figuren nimmt die ganze Dicke der Netzhaut ein und stellt ihre

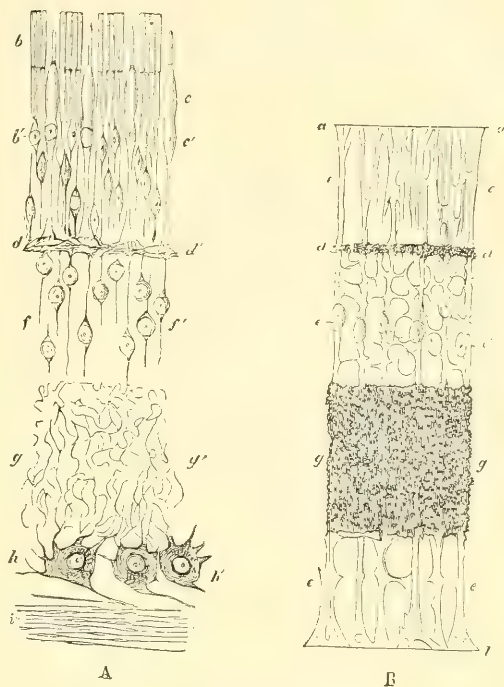


Fig. 72.

Schematische Darstellung der nervösen (A) **und bindegewebigen** (B) **Bestandteile der Netzhaut,** gesondert voneinander dargestellt. A Die nervösen Bestandteile: *b* die Stäbchen; *c* die Zapfen; *b'c'* die äuſsere Körnerschicht. deren Körner mit den Stäbchen und Zapfen zusammenhängen; *dd'* sehr zarte verflochtene Nervenfasern, von denen feine Nervenfäden, welche die inneren Körner *(ff')* tragen, nach der vorderen Fläche auslaufen; *gg'* die Fortsetzung dieser Nervenfäden, welche gewunden sind und sich mit den Fortsätzen der Ganglienkörperchen *hh* verflechten; *ii* die Ausbreitung der Sehnervenfasern. — B die bindegewebigen Bestandteile der Netzhaut: *aa* äuſsere oder hintere Grenzhaut; *ee* Fasern, welche strahlenartig zur inneren oder vorderen Grenzhaut gehen; *e'e'* Kerne; *dd* die Zwischenkörnerschicht; *gg* feine Körnchenschicht; *l* die vordere Grenzhaut. (Vergröſserung etwa zweihundertfünfzig mal).

wesentlichen oder nervösen Bestandteile dar. Das äuſsere* Viertel, oder vielmehr etwas weniger ihrer Dicke besteht aus einer groſsen Menge kleiner stäbchen- und zapfenförmiger Körperchen, eines neben dem anderen gestellt, senkrecht auf die Fläche der Netzhaut. Dieses heiſst die Stäbchen- und Zapfenschicht *(bc)*. Von den vorderen Enden der Stäbchen und Zapfen gehen sehr feine Fasern aus, und in jeder derselben ist ein Körnchen oder kernähnliches Körperchen *(b′c′)* enthalten, welche einen Teil der sogenannten äuſseren Körnerschicht bilden. Es ist wahrscheinlich, dass diese Fasern in das dichte Maschenwerk sehr feiner Nervenfasern übergehen, welches man bei *dd′* (Fig. 72 A) sieht. Von der inneren Fläche dieses Maschenwerkes entspringen andere Fasern, welche eine zweite Lage von Körnern enthalten, die innere Körnerschicht *(ff″)*. Nach innen von dieser Schicht befindet sich ein Lager feiner gewundener Nervenfasern *(gg′)*, und noch weiter nach innen wiederum sind zahlreiche Nervenzellen gelagert *(hh′)*. Fortsätze dieser Nervenzellen erstrecken sich einerseits in die Schicht der gewundenen Nervenfasern und stehen andererseits wahrscheinlich mit dem Lager der Sehnervenfasern *(i)* in Verbindung.

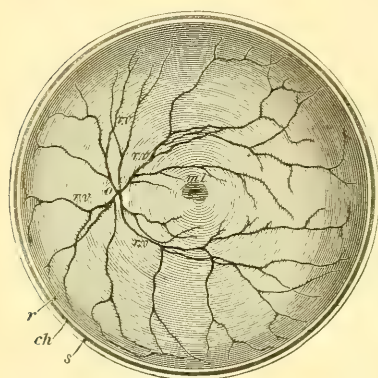


Fig. 73.

Hintere Hälfte eines in der Mitte durchschnittenen Augapfels, von vorn gesehen. *s* Sclera oder Sclerotica; *ch* Chorioidea, beide nur im Durchschnitte sichtbar; *r* das durchschnittene Ende der Retina; *vv* Blutgefäſse der Retina, aus dem blinden Flecke, der Eintrittsstelle des Sehnerven *(o)* herkommend; *ml* der gelbe Fleck; der dunkle Fleck in der Mitte ist die *Fovea centralis.*

Diese zarten nervösen Gebilde werden getragen und gestützt durch eine Art Gitterwerk

---

* Bei der folgenden Beschreibung der Netzhaut ist dieselbe in ihrer natürlichen Lage im Augapfel vorgestellt. Diejenige Fläche, welche dem Mittelpunkt des kugeligen Augapfels zugewandt ist, wird daher als die innere bezeichnet, diejenige dagegen, welche den übrigen Hüllen anliegt, als die äuſsere, und dieselben Lagenverhältnisse gelten für die Bezeichnungen der einzelnen Schichten der Netzhaut zwischen diesen Grenzflächen.

von Bindegewebe, welches sich von der inneren oder vorderen Grenzhaut (*l*, Fig. B), welche die Netzhaut nach innen begrenzt und in Berührung mit der Glasflüssigkeit ist, zu einer äufseren oder hinteren Grenzhaut erstreckt, welche an den vorderen Enden der Stäbchen und Zapfen liegt ungefähr an der Linie *b'c'* der Fig. 72 *A*. Das Gitterwerk ist also dünner als die nervösen Bestandteile der Netzhaut und erstreckt sich nicht zwischen die Stäbchen und Zapfen, welche nach aufsen von ihm und ganz ohne Unterstützung durch Bindegewebe liegen. Sie sind aber, wie wir noch sehen werden, in das Lager von Pigmentzellen, auf welchem die Netzhaut aufliegt, eingebettet (§ 16).*

Die Fasern des Sehnerven breiten sich zwischen der Grenzhaut (*l'*) und den Nervenzellen (*h'*) aus, und die Gefäfse, welche zugleich mit dem Sehnerven eintreten, verästeln sich zum gröfsten Teil zwischen der Grenzhaut und der inneren Könerschicht (*ff'*). So sind nicht nur die Nervenfasern, sondern auch die Gefäfse sämtlich nach innen oder, wenn man von vornher in das Auge eindringt, vor den Stäbchen und Zapfen gelegen.

An dem Eintrittspunkte des Sehnerven selbst sind die Nervenfasern vorherrschend, und die Stäbchen und Zapfen fehlen ganz. Im gelben Flecke hingegen sind die Zapfen häufig und dichtgedrängt, sind zugleich hier länger und schmäler, während Stäbchen hier spärlich und nur gegen den Rand des Fleckes hin gefunden werden. Die Schicht der Sehnervenfasern fehlt ganz, und alle anderen Schichten mit Ausnahme der Zapfen werden gegen die Mitte des gelben Fleckes hin aufserordentlich dünn (Fig. 74).

4. Die bedeutungsvollste Eigenschaft der Netzhaut ist ihr Vermögen, die Schwingungen des Äthers, welche den physikalischen Grund des Lichtes ausmachen, in einen Reiz für die Fasern des Sehnerven zu verwandeln, — welche Fasern ihrerseits die Fähigkeit besitzen, wenn sie erregt werden, im Gehirne oder einem Teile des Gehirnes, welche wir die Sehsphäre nennen, die Empfindung von Licht zu erwecken, geradeso wie die Er-

---

* Die Figuren 72 A und B geben also jede für sich nur einen Teil der Netzhautbestandteile dar, A die nervösen und B die bindegewebigen. Denkt man sich Fig. B so auf Fig. A gelegt, dass die inneren Grenzflächen genau zusammenfallen, so erhält man ein vollständiges Bild vom Bau der Netzhaut.

regungen der Hörnervenfasern in anderen Elementen des Gehirns die Schallempfindungen vermitteln. In der Netzhaut wird die Einwirkung der Lichtätherschwingungen in eine Erregung der Sehnervenfasern übertragen, und diese letztere wird zum Gehirn fortgepflanzt, wo sie in denjenigen Elementen, welche die Sehsphäre ausmachen, ihre centralen Endigungen haben.

Es muss aber festgehalten werden, dass die Lichtempfindung das Werk der Sehsphäre des Gehirnes und nicht der Netzhaut ist; denn selbst wenn das Auge herausgenommen ist, wird ein Schlag, ein elektrischer Strom oder jeder andere auf den Sehnerven ausgeübte Reiz immer noch eine Lichtempfindung erregen, weil er die Fasern des Sehnerven in Thätigkeit versetzt; die Thätigkeit derselben, einerlei wie sie zu stande kommt, bringt stets im Gehirne gewisse Veränderungen hervor, welche Lichtempfindungen zur Folge haben.

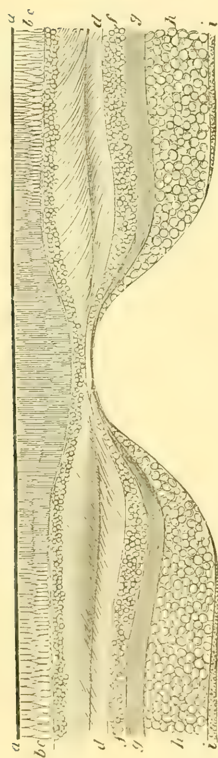


Fig. 74.

Licht, welches auf den Sehnerven selbst fällt, kann ihn nicht erregen; denn die Fasern des Sehnerven sind an und für sich ebenso blind wie jeder andere Körperteil. Aber gerade wie die Haarzellen des Labyrinths und das Corti'sche Organ Vorrichtungen sind, um die zarten Schwingungen der Peri- und Endolymphe in die Gehörnerven erregende Eindrücke zu verwandeln (vgl. Vorl. VIII), so scheinen auch die Anordnungen im Gewebe der Netzhaut darauf angelegt, die unendlich viel zarteren Stöfse des lichttragenden Äthers in Reize für den Sehnerven umzusetzen.

5. Der Grad der Empfindlichkeit für das Licht an den verschiedenen Teilen der Netzhaut ist sehr ungleich. Der Punkt, wo der Sehnerv eintritt, ist vollkommen

Schematischer Durchschnitt der Netzhaut in der Gegend des gelben Fleckes. — *aa* die Pigmentschicht der Aderhaut; *bc* Stäbchen und Zapfen; *dd* äufsere Körnerschicht; *ff* innere Körnerschicht; *gg* feine Körnchenschicht; *hh* Ganglienkörperschicht; *ii* Fasern des Sehnerven. (Vergröfserung etwa sechzig mal.)

blind, was sich durch einen sehr einfachen Versuch beweisen lässt. Man schliefse das linke Auge und blicke mit dem rechten unverrückt auf das links abgebildete Kreuz, indem man das Buch 25 bis 30 mm weit von sich entfernt hält.





Der schwarze Punkt wird dann ebenso deutlich gesehen werden als das Kreuz. Nun nähere man das Buch langsam dem Auge, das unverrückt auf das Kreuz gerichtet bleiben muss; an einer bestimmten Stelle wird der schwarze Punkt verschwinden, aber wenn das Buch näher an das Auge gebracht wird, kommt er wieder zur Ansicht. Nun kann man aus optischen Prinzipien den Nachweis führen, dass in der ersten Stellung des Buches das Bild des Punktes zwischen das des Kreuzes (welches bei unverrückter Haltung des Auges immer gerade auf dem gelben Flecke der Netzhaut liegt) und den Eintritt des Sehnerven fällt, während es in der zweiten Stellung auf den Eintritt des Sehnerven selbst fällt und in der dritten nach innen von diesem Punkte. So lange das Bild des schwarzen Punktes auf dem Eintrittspunkte des Sehnerven liegt, wird es nicht wahrgenommen, und daher wird diese Stelle der Netzhaut der blinde Fleck genannt. Dieser Versuch beweist also, dass die Ätherschwingungen nicht im stande sind, die Nervenfasern des Sehnerven selbst zu erregen.

6. Der Eindruck, welchen Licht auf die Netzhaut ausübt, besteht nicht nur während der ganzen Dauer des ihn erregenden Lichtes, sondern er hat noch aufserdem eine gewisse eigene Nachdauer, wie kurz auch immer die Zeit gewesen sein mag, welche das Licht selbst gedauert hat. Ein Blitz hat eine nicht messbare Dauer, aber die durch den Blitz hervorgerufene Lichtempfindung hat eine merkliche Zeitdauer. In der That ist festgestellt worden, dass ein Lichteindruck ungefähr während des achten Teiles einer Sekunde andauert; woraus folgt, dass zwei Lichteindrücke, die durch einen geringeren Zeitraum getrennt sind, nicht mehr getrennt wahrgenommen werden.

Aus diesem Grunde erscheint eine schnell mit der Hand im Kreise geschwungene glühende Kohle wie ein feuriger Kreis; und die Speichen eines schnell fahrenden Wagenrades

sind nicht einzeln sichtbar, sondern erscheinen wie eine durchscheinende, innerhalb der Radfelge ausgespannte Haut.

7. Die Erregbarkeit der Netzhaut wird leicht erschöpft. Sieht man in ein helles Licht, so wird der Teil der Netzhaut, welchen das Licht trifft, schnell unempfindlich, und sieht man dann von dem hellen Lichte auf eine schwach beleuchtete Fläche, so erscheint in dem Sehfelde ein schwarzer Fleck, der von einer zeitweiligen Blendung der Netzhaut an jener Stelle herrührt. Wenn das helle Licht eine bestimmte Farbe hat, so wird die Stelle der Netzhaut, auf welche es fällt, unempfindlich für Strahlen dieser Farbe, aber nicht für die anderen Strahlen des Spektrums. Dies liefert die Erklärung für die Erscheinung der sogenannten Kontrast- oder Ergänzungs-Farben. Klebt man z. B. eine rote Oblate auf ein Blatt weifses Papier und blickt mit einem Auge eine Zeit lang unverrückt auf die Oblate, so wird bei einer seitlichen Wendung des Blickes auf dem weifsen Papiere ein grünlicher Fleck von der Gröfse und der Form der Oblate erscheinen. Das rote Bild hat in der That die Stelle der Netzhaut, auf welche es fiel, für rotes Licht abgestumpft, aber für die übrigen Farbenstrahlen, aus welchen das weifse Licht zusammengesetzt ist, empfindlich gelassen. Nun weifs man, dass, wenn von den verschiedenen Strahlen, aus welchen weifses Licht zusammengesetzt ist, alle roten fortgenommen werden, die Summe aller übrigen uns grün erscheint. Wenn daher weifses Licht auf jene Stelle fällt, so haben die roten Strahlen im weifsen Lichte keine Wirkung, und das Ergebnis des Eindruckes der anderen ist ein grünlicher Schimmer. Ist die Oblate grün, so ist das Kontrastbild, wie es genannt wird, rot.

8. Die meisten Menschen stimmen untereinander vollkommen überein in der Beurteilung von Farben und Farbenunterscheidungen und der verschiedenen Teile des Farbenspektrums. Aber es giebt Ausnahmen hiervon. Manche Personen sehen nur einen geringen Unterschied zwischen derjenigen Farbe, welche von der Mehrzahl der Menschen rot genannt wird, und derjenigen, welche diese grün nennen. Solche farbenblinde Menschen sind nicht im stande, Früchte und Blätter an einem Kirschbaume durch die Farbe zu unterscheiden, sie sehen nur den Unterschied der Form. Man nennt sie deshalb rotblind oder auch rotgrünblind. Diese Art von Farbenblindheit ist gar nicht selten.

Seltener kommen Fälle vor, in denen Blau und Gelb nicht unterschieden werden, und noch seltener jedenfalls sind Fälle von vollständiger Farbenblindheit, d. h. wo die Menschen gar keine Farben unterscheiden können, sondern wo alle Farben nur als verschiedene Helligkeitsgrade einer und derselben Art erscheinen.

Diese Eigentümlichkeit ist für die meisten Betroffenen nur ein Missgeschick; sie kann aber gefährlich werden, wenn Eisenbahnbeamte oder Seeleute, ohne es zu wissen, damit behaftet sind. Sie kann entweder von einem Fehler in der Netzhaut herrühren, welcher dieselbe unfähig macht, durch verschiedene Arten von Lichtschwingungen erregt zu werden, oder auch in einer fehlerhaften Beschaffenheit des Gehirnes selbst liegen.

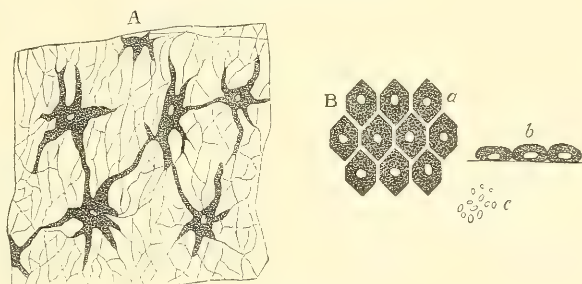


Fig. 75.

Pigmentzellen der Chorioidea. A Verzweigte Pigmentzellen des tieferen Lagers. B Pigment-Epithel: *a* von der Fläche gesehen; *b* im Profile; *c* einzelne Pigmentkörnchen.

9. Lichtempfindungen können auch durch andere Ursachen als durch das Einwirken der Schwingungen des Lichtäthers auf die Netzhaut erregt werden. So verursacht ein durch das Auge geleiteter elektrischer Schlag die Erscheinung eines Lichtblitzes; ein Druck auf irgend einen Teil der Netzhaut bringt ein leuchtendes Bild hervor, welches so lange anhält als der Druck. Derartige Lichtempfindungen nennt man Phosphene. Drückt man mit dem Finger auf die Aufsenseite des Augapfels, so nimmt man ein leuchtendes Bild wahr — welches bei mir dunkel in der Mitte ist und einen hellen Ring im Umkreise hat (Newton beschreibt es wie „das Auge“ in einem Pfauenschwanze) — und dieses Bild bleibt so lange, als der Druck fortgesetzt wird. Die meisten Menschen haben auch schon an sich das merkwürdige Abspielen eines subjektiven Feuerwerkes erfahren, als Folge eines starken Stofses auf die Augengegend, welcher etwa durch einen

Fall vom Pferde verursacht oder nach irgend einer anderen. der englischen Jugend wohlbekannten Methode ausgeführt sein mag.

Es ist indessen fraglich, ob diese Wirkungen von Druck oder Stoſs wirklich durch eine Erregung der eigentlichen Netzhautelemente entstehen, oder ob sie nicht vielmehr nur das Ergebnis der auf die Fasern des Sehnerven ausgeübten Zerrung, abgesehen von der Netzhaut, sind.

10. Der letzte Paragraph führt eine Unterscheidung ein zwischen den „Fasern des Sehnerven" und der „Netzhaut"; dies mag manchem Leser auffallend erscheinen, und doch ist es von groſser Wichtigkeit.

Wir haben gesehen, dass die Fasern des Sehnerven in dem inneren Viertel der Dicke der Netzhaut sich verästeln, während die Schicht der Stäbchen und Zapfen ihr äuſseres Viertel ausmacht. Das Licht muss daher zuerst auf die Fasern des Sehnerven fallen und erst nach Durchschreitung derselben kann es die Stäbchen und Zapfen erreichen. Wenn folglich die Fasern des Sehnerven selbst fähig wären, durch Licht erregt zu werden, so könnten die Stäbchen und Zapfen nur eine Art optischen Hilfsapparats von nebensächlicher Bedeutung sein. Aber in der That sind es gerade die Stäbchen und Zapfen, welche durch Licht erregt werden, während die Fasern des Sehnerven selbst unempfindlich dafür sind. Der Beweis für diese Behauptung liegt in folgendem: —

a. Der blinde Fleck ist voller Nervenfasern, aber er enthält keine Stäbchen oder Zapfen.

b. Der gelbe Fleck, mit welchem wir am schärfsten sehen, ist voll dicht aneinander sitzender Zapfen, hat aber keine Nervenfasern.

c. Wenn man mit einem einzigen kleinen aber hellen Kerzenlichte in ein dunkles Zimmer geht und, auf eine dunkle Wand blickend, das Licht dicht vor der äuſseren Seite des einen Auges auf und nieder bewegt, so dass die Strahlen ganz schräg ins Auge fallen, wird man die sogenannte PURKINJE'sche Figur sehen. Diese Erscheinung stellt sich dar als eine Reihe wie Zweige auseinander laufender roter Linien auf einem mäſsig hellen Grunde; zwei dieser Linien erscheinen unterbrochen durch eine Art napfförmiger Scheibe. Die roten Linien sind die Schatten der Blutgefäſse der Netzhaut und die Scheibe ist der gelbe Fleck. Wird

das Licht auf und nieder bewegt, so verändern die roten Linien ihren Platz, ebenso wie Schatten es thun, wenn das Licht, welches sie wirft, seinen Platz verändert.

Da nun das Licht auf die innere Fläche der Netzhaut fällt, und die Schatten der Gefäfse, welche es entstehen lässt, bei der Bewegung des Lichtes ihren Platz wechseln, so muss das, was diese Bilder wahrnimmt, notwendig auf der anderen oder äufseren Seite der Gefäfse liegen. Aber die Fasern des Sehnerven liegen zwischen und vor den Gefäfsen und die einzigen Gewebeteile der Netzhaut, welche nach aufsen oder nach hinten von denselben liegen, sind die Körnerschichten und die Zapfen und Stäbchen.

d. Gerade wie es bei der Haut eine untere Grenze des Abstandes giebt, innerhalb deren zwei Punkte nur einen Eindruck verursachen, so giebt es auch eine kleinste Entfernung, durch welche zwei auf die Netzhaut fallende Lichtpunkte getrennt sein müssen, um noch als zwei Punkte zu erscheinen. Und diese Entfernung entspricht ziemlich genau dem Durchmesser der Zapfen.

11. Die Einwirkung der Ätherschwingungen auf die lichtempfindliche Ausbreitung der Netzhaut, den allein wesentlichen Teil des Sehapparates, ist ausreichend, alle die Empfindungen hervorzurufen, welche wir als Lichtempfindung oder Farbenempfindung bezeichnen, und auch die Vorstellungen einer Aufsenwelt zu erwecken, welche alle unsere Sehempfindungen begleitet. Aber wenn die lichtempfindliche Netzhaut nur einfach von einer durchsichtigen Hülle bedeckt wäre, so würden alle von einem beliebigen Punkte der Aufsenwelt ausgehenden Lichtstrahlen alle Teile der Netzhaut gleichmäfsig treffen, und die dadurch erzeugte Empfindung könnte nur die einer allgemeinen, diffusen Helle sein. Dagegen könnte keine gesonderte Wahrnehmung von Licht für einzelne, lichtaussendende Punkte zu stande kommen und demnach keine Beziehung zwischen unseren Lichtempfindungen und den lichtaussendenden Punkten, welche sie hervorgerufen haben.

Es ist leicht einzusehen, dass eine solche Beziehung oder mit anderen Worten die Möglichkeit einer Unterscheidung einzelner Punkte der Aufsenwelt mittelst des Gesichtes nur zu stande kommen kann, wenn gesonderten Lichtpunkten der Aufsen-

welt auch gesonderte Lichtempfindungen entsprechen. Und da nun, um solche gesonderte Empfindungen hervorzubringen, die Schwingungen auf gesonderte Stäbchen und Zapfen, oder doch zum mindesten auf gesonderte Punkte der Netzhaut einwirken müssen, so müssen zwischen der Netzhaut und der Aufsenwelt Apparate eingeschaltet sein, durch deren Wirkung jedem gesonderten Lichtpunkte der Aufsenwelt ein gesonderter Lichtpunkt auf der Netzhaut entsprechen muss.

In den Augen des Menschen und der höheren Tiere sind diese Hilfsapparate dargestellt durch Gebilde, welche zusammengenommen so wirken wie eine bikonvexe Linse, die aus Substanzen von gröfserem Brechungsvermögen als die Luft, welche das Auge umgiebt, zusammengesetzt ist. Durch diese Wirkung kommen auf der Netzhaut leuchtende Punkte zu stande, welche an Zahl und in ihrer gegenseitigen Lage den Punkten der Aufsenwelt, von welchen Lichtstrahlen zum Auge gelangen, entsprechen. Die so auf der Netzhaut entstandenen leuchtenden Punkte stellen ein Bild der Aufsenwelt dar, welches in der Anordnung von Licht und Schatten und Farben der Verteilung der leuchtenden und farbigen Teile des dargestellten Objektes der Aufsenwelt entspricht

12. Dass man mittelst einer bikonvexen Linse ein derartiges Bild der Aufsenwelt auf einen passend aufgestellten Schirm entwerfen kann, davon kann sich jedermann durch einfache Versuche überzeugen. Ein gewöhnliches Brennglas ist ein durchsichtiger Körper, dichter als die Luft und konvex, d. h. runderhaben gewölbt auf beiden Seiten. Hält man eine solche Linse in einem dunklen Zimmer in einer gewissen Entfernung von einem Vorhange oder einer Wand und stellt hinter dieselbe ein Licht, so wird es leicht sein, die Entfernung zwischen Licht, Linse und Wand so einzurichten, dass ein Bild der Flamme durch die Linse auf die Wand geworfen wird. Dieses Bild ist verkehrt.

Wird das Licht näher an die Linse gebracht, so wird das Bild an der Wand gröfser, aber verwaschen und dunkler werden; es erhält jedoch seine Helligkeit und Schärfe wieder, wenn man die Linse mehr von der Wand entfernt. Wenn bei der jetzigen Stellung der Linse das Licht weiter von der Linse entfernt wird, wird das Bild wieder undeutlich, und die Linse muss der Wand näher gebracht werden, um seine Schärfe wieder herzustellen.

So liefert also eine konvexe Linse ein deutliches Bild von leuchtenden Gegenständen, aber zwischen den Entfernungen des Objektes und des Bildes von der Linse herrschen bestimmte Beziehungen. Das Bild liegt der Linse um so näher, je weiter der Gegenstand von der Linse absteht, um so ferner, je näher der Gegenstand ist.

13. Wenn man das Licht unbewegt lässt und eine Linse mit stärker gekrümmten Flächen an die Stelle der erstern setzt, so wird das Bild wieder verwaschen, und die Linse muss näher an die Wand gerückt werden, um seine Umrisse scharf erscheinen zu lassen. Setzt man hingegen eine schwächer gekrümmte Linse für die erste ein, so muss sie weiter von der Wand abgerückt werden, um denselben Zweck zu erreichen.

Mit anderen Worten: je stärker gekrümmt die Linse, desto näher liegt ihr unter sonst gleichen Verhältnissen das Bild, je schwächer gekrümmt, desto ferner liegt das Bild.

Wäre die Linse elastisch, so würde sie durch Auseinanderziehen der Ränder flacher und dadurch die Bildweite vergröfsert werden, während sie beim Loslassen wieder stärker konvex und damit die Entfernung des Bildes verringert würde.

Wenn ein Stoff, der stärker brechend ist als das Medium, in welchem er sich befindet, eine konvexe Oberfläche hat, so veranlasst er die Lichtstrahlen, welche durch jenes schwächer strahlenbrechende Medium auf seine Oberfläche fallen, gegen einen Punkt zusammenzulaufen und so ein Bild zu erzeugen. Fügt man in eine Schachtel auf einer Seite ein Uhrglas ein und füllt dann die Schachtel mit Wasser, so kann ein Licht aufserhalb des Uhrglases in solcher Entfernung aufgestellt werden, dass ein Bild der Flamme auf der gegenüberliegenden Wand der Schachtel erscheint. Wenn unter diesen Umständen eine doppelt konvexe Linse im Wasser auf dem Wege der Lichtstrahlen angebracht wird, so werden durch ihre Vermittelung (obgleich sie im Wasser schwächer als in der Luft wirkt) die Strahlen früher in einen Punkt zusammengebrochen, weil Glas stärker lichtbrechend ist als Wasser.

Eine Camera obscura (dunkle Kammer) ist ein Kasten, auf dessen einer Seite eine Linse so eingefügt ist, dass ihre Entfernung von der hinteren Wand verändert werden kann. Hierdurch können deutliche Bilder von Gegenständen aus verschie-

denen Entfernungen auf einem an der hinteren Wand des Kastens befindlichen Schirm entworfen werden. Die Einrichtung, die wir eben beschrieben haben, dürfte also eine Wassercamera genannt werden.

14. Die Hilfsorgane, mittels derer die physikalische Ursache der Gesichtsempfindung, das Licht, in den Stand gesetzt wird, auf die Ausbreitung des Sehnerven einzuwirken, umfassen dreierlei Apparate: *a.* eine solche Wassercamera, den Augapfel; *b.* Muskeln zur Bewegung des Augapfels; *c.* Organe zum Schutze für den Augapfel, als da sind die Augenlider mit ihren Wimpern, Drüsen und Muskeln, die Bindehaut (*conjunctiva*), und die Thränendrüsen mit den Thränengängen.

Der Augapfel besteht in erster Linie aus einem zähen, festen, kugelförmigen Gehäuse von Bindegewebe, dessen gröfserer Teil weifs und undurchsichtig ist und die weifse Haut (*sclerotica* oder *sclera*, vgl. Fig. 76, 2) genannt wird. An der Vorderseite ist diese Faserkapsel des Auges, ohne jedoch ihren wesentlichen Charakter zu verändern, durchsichtig und erhält den Namen Hornhaut (*cornea*, vgl. Fig. 76, 1). Der Hornhautteil des Augapfelgehäuses ist stärker gekrümmt als der Teil mit der weifsen Haut. Die Form des ganzen Augapfels ist daher so beschaffen, als ob man von der Vorderseite einer Kugel mit dem Durchmesser der weifsen Haut ein Stück abgeschnitten und die Lücke durch ein Stück von einer kleineren, und folglich stärker gekrümmten Kugel ausgefüllt hätte.

15. Das aus der Hornhaut und der weifsen Haut zusammengesetzte Gehäuse des Augapfels wird prall erhalten durch die sogenannten Flüssigkeiten oder Feuchtigkeiten, wässerige oder halbflüssige Substanzen, von denen die eine, die wässerige Flüssigkeit, die Hornhautkammer des Auges und die andere, der Glaskörper oder die Glasflüssigkeit, die Kammer der weifsen Haut ausfüllt. Die wässerige Flüssigkeit (*humor aqueus*) ist kaum etwas anderes als reines Wasser, da in ihr nur Spuren von Salzen und organischen Stoffen gelöst sind. Der Glaskörper (*corpus vitreum*, Fig. 76, 13) ist einer zarten Gallerte zu vergleichen, also eigentlich nicht vollkommen flüssig.

Die beiden Flüssigkeiten werden getrennt durch die sehr schöne, durchsichtige, doppelt konvexe Krystalllinse (Fig. 76, 12), welche dichter und stärker lichtbrechend ist als beide Flüssig-

keiten. Die Krystalllinse besteht aus Fasern von etwas verwickelter Anordnung und ist in hohem Grade elastisch. Sie ist hinten stärker konvex als vorn, und wird an ihrer Stelle durch ein zartes, aber gleichzeitig starkes, elastisches häutiges Gebilde, das Aufhängeband, festgehalten, welches von den Rändern der Linse bis an die sogenannten Ciliarfortsätze (Fig. 76, 5) der Aderhaut reicht. Unter den gewöhnlichen Umständen ist dieses Band in einem Zustande starker Spannung, und dadurch wird ein Zug auf die Linse ausgeübt, durch welchen dieselbe in der Richtung von vorn nach hinten abgeplattet wird (vgl. § 17 und 21).

16. Die Aderhaut (*chorioides* oder *chorioidea*, vgl. Fig. 76, 3) ist eine sehr gefäſsreiche Haut, welche nach auſsen dicht an der weiſsen Haut anliegt, und nach innen mit einer Schicht kleiner vieleckiger, mit Farbstoff angefüllter Körperchen, den Pigmentzellen, überzogen ist

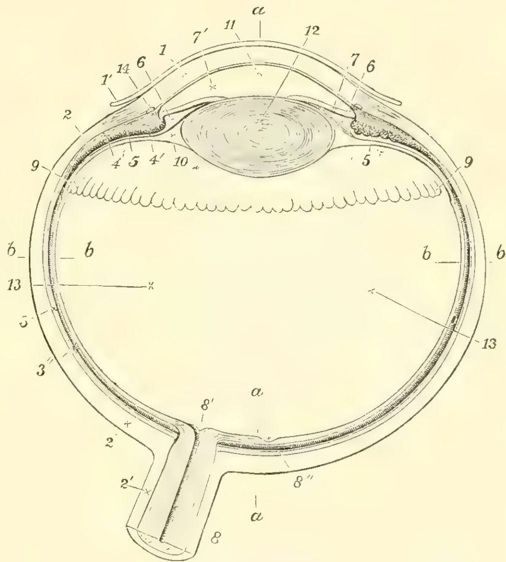


Fig. 76.

Wagerechter Durchschnitt durch den Augapfel. 1. Hornhaut; 1′ Bindehaut; 2 Sclera; 2′ Scheide des Sehnerven; 3 Chorioidea; 3″ Stäbchen und Zapfen der Netzhaut; 4 Ciliarmuskel; 4′ ringförmiger Teil des Ciliarmuskels; 5 Ciliarfortsätze; 6 hintere Augenkammer zwischen: 7 Regenbogenhaut und Aufhängeband; 7′ vordere Kammer; 8 Centralarterie der Netzhaut; 8′ Mittelpunkt des blinden Fleckes; 8″ gelber Fleck; 9 Ora serrata (in einem Horizontalschnitte ist diese eigentlich nicht sichtbar, aber sie ist hier gezeichnet, um ihre Lage anzugeben); 10 Raum hinter dem Aufhängebande (*Canalis Petiti*); 11 wässerige Flüssigkeit; 12 Krystalllinse; 13 Glasflüssigkeit; 14 deutet die Lage des Ciliarbandes an; *aa* Längsaxe des Auges (in dem Auge, nach welchem diese Zeichnung ganz genau angefertigt wurde, ging die Axe nicht durch den gelben Fleck*); *bb* Äquatorialebene des Augapfels.

* Dies ist bei allen Augen der Fall und hängt mit der nicht vollkommen kugeligen Beschaffenheit der brechenden Flächen des Auges zusammen.

(vgl. Fig. 74). Diese Pigmentzellen werden von dem Glaskörper nur durch die Netzhaut getrennt, deren Zapfen und Stäbchen mit ihnen in unmittelbarer Berührung stehen. In der That wäre es richtiger, diese Zellen zur Netzhaut zu rechnen als zur Aderhaut. Die Aderhaut bedeckt die gesamte weiſse Haut auſser an der Stelle, wo der Sehnerv eintritt, unter und etwas nach innen vom hinteren Mittelpunkte des Auges; aber wo sie den Vorderteil der weiſsen Haut erreicht, erhebt sich ihre innere Oberfläche in eine Anzahl länglicher Streifen mit dazwischenliegenden Senkungen, ähnlich den gefältelten Halskrausen der Damenkleider. Diese Streifen haben nach innen und nach vorn abgerundete Enden, nach auſsen gehen sie in die Regenbogenhaut über. Sie werden Ciliarfortsätze genannt (vgl. Fig. 76, 5 und 77, c). Von hinten gesehen scheinen sie nach allen Richtungen von der Linse auszustrahlen.

17. Die Regenbogenhaut, Iris (Fig. 76, 7 und 77, ab), selbst ist, wie schon gesagt worden, ein Vorhang mit einem runden Loch in der Mitte, und mit glatten Muskelfasern versehen, welche teils strahlenförmig von dieser centralen Öffnung ausgehen, teils ringförmig dieselbe umgeben; mit Hilfe dieser Muskelfasern, die sich, abweichend von dem Verhalten anderer glatter Muskelfasern, ziemlich schnell zusammenziehen, kann sie ihre mittlere Öffnung erweitern und verengern. Wo sich die Hornhaut mit der weiſsen Haut vereinigt, sind die Ränder der Regenbogenhaut mit der Kapsel des Auges durch Bindegewebe eng verbunden, welches einen Teil des sogenannten Ciliarbandes ausmacht. Glatte Muskelfasern, an der Vorderseite ebendaselbst befestigt, ziehen in der Richtung nach hinten an der äuſseren Fläche der Aderhaut und bilden den Ciliarmuskel (Fig. 75, 4). Es ist klar, dass diese Muskelfasern, wenn sie sich verkürzen, die Aderhaut nach vorn ziehen; und da das Aufhängeband der Linse mit den Ciliarfortsätzen (welche einfach die vordere Endigung der Aderhaut bilden) verbunden ist, so kommt dieses Vorwärtsziehen der Aderhaut einem Nachlassen der Spannung in dem Aufhängebande gleich, welches, wie schon gesagt, ebenso wie die Linse selbst, straff gespannt ist und die Linse in abgeplattetem Zustand erhält.

Die Regenbogenhaut hängt nicht senkrecht in dem Raume zwischen der vorderen Fläche der Krystalllinse und der hinteren

Wand der Hornhaut, welcher mit der wässerigen Flüssigkeit angefüllt ist; sie legt sich vielmehr so dicht an die Vorderseite der Linse an, dass kaum ein Raum zwischen beiden bleibt (Fig. 76 und 78).

Die Netzhaut kleidet, wie wir gesehen haben, die Kapsel des Augapfels innen aus, indem sie zwischen der Chorioidea und der Glasflüssigkeit liegt; ihre Stäbchen und Zapfen sind in das Pigment eingebettet, welches die erstere überzieht, während ihre vordere Grenzmembran dem Glaskörper anliegt.

In dem Abstande von ungefähr einem Drittel der ganzen Länge von vorn gerechnet, scheint die Netzhaut mit einem welligen Rande zu endigen, welcher Ora serrata genannt wird (Fig. 76, 9). In Wirklichkeit enden die nervösen Elemente der Netzhaut hier, nachdem sie schon erheblich abgenommen haben, ehe sie noch jene Linie erreichen. Ein Teil des bindegewebigen Bestandteiles geht aber in Form einer ganz zarten Membran auf die Rückseite der Ciliarfortsätze über und reicht bis nahe an die Linse hin.

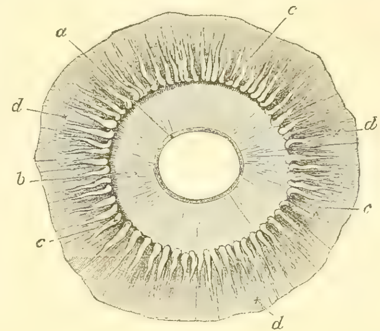


Fig. 77.

Vorderer Abschnitt des Auges, von der Rückseite angesehen. *a* Ringfasern der Iris; *b* Radialfasern derselben; *c* Ciliarfortsätze; *d* Chorioidea. Die Krystalllinse ist entfernt worden.

18. Der Augapfel, dessen wichtigste Bestandteile nun beschrieben worden sind, ist im Grunde also eine Camera von der oben beschriebenen Art: eine Wassercamera. Die weiſse Haut vertritt, sozusagen, die Wand der Kammer, die Hornhaut das Uhrglas; die wässerige Flüssigkeit und der Glaskörper entsprechen dem Wasser, womit wir den Kasten gefüllt hatten, und die Krystalllinse unserer eingesetzten Glaslinse. Dem an der hinteren Wand der Kammer angebrachten Schirm entspricht hier die Netzhaut.

Aber in einer gewöhnlichen Camera obscura ist es wünschenswert, eine Scheidewand (eine undurchsichtige Platte mit einem Loche in der Mitte) auf dem Wege der Strahlen zu haben, einmal um das Licht zu mildern, und dann besonders, um die

Randstrahlen abzuschneiden, welche infolge gewisser optischer Eigenschaften kugelförmiger Flächen in dem auf dem Schirme erzeugten Bilde Fehler verursachen.

In dem Auge tritt an die Stelle dieser Scheidewand die Regenbogenhaut, welche den besonderen Vorteil gewährt, sich selbst regeln zu können, indem sie ihre Öffnung erweitert und mehr Licht einlässt, wenn das Licht schwach ist; hingegen bei starker Beleuchtung die Öffnung verengert und weniger Licht einlässt.

19. Die nach obiger Beschreibung eingerichtete Wassercamera hat noch den Fehler, dass sie keine Vorrichtung besitzt, um die Lage der Bildfläche den verschiedenen Entfernungen der Gegenstände anzupassen. Ist die Camera so eingerichtet, dass die hintere Wand, auf welche das Bild geworfen wird, deutliche Bilder von sehr entfernten Gegenständen empfängt, so fallen die von nahen undeutlich aus. Und ist sie wiederum für die Aufnahme der Bilder naher Gegenstände in einer gegebenen Entfernung eingerichtet, so werden die noch näheren sowohl, als die entfernteren Gegenstände verwischt und undeutlich erscheinen. In der gewöhnlichen Camera obscura wird diese Schwierigkeit durch Hin- und Herschieben der Linse überwunden, welches Verfahren jedoch bei unserer Wassercamera nicht anwendbar ist Aber es giebt unter vielen ein zweifelloses Mittel, durch welches diese Anpassung bewirkt werden kann, nämlich durch Wechseln der Glaslinse: indem man eine schwächer gekrümmte einsetzt, wenn entferntere Gegenstände ein Bild entwerfen sollen, und eine stärker gekrümmte, sobald die Bilder von näheren Gegenständen auf der hinteren Wand der Schachtel erscheinen sollen.

Indessen würde es auf dasselbe hinaus kommen und bei weitem bequemer sein, wenn wir, anstatt die Linse zu vertauschen, bei einer und derselben Linse den Grad der Krümmung verändern könnten. Dies ist es in der That, was bei der Anpassung des Auges auf verschiedene Entfernung geschieht.

20. Folgende ist die einfachste Art des Versuches, um sich die Anpassung des Auges zu vergegenwärtigen. Man steckt zwei starke Nadeln aufrecht auf ein gerades Stück Holz und zwar annähernd, aber nicht ganz genau, in einer geraden Linie mit dem Augenmittelpunkte, so dass, wenn man das Auge an das eine Ende des Holzstückes legt, die eine Nadel *a* ungefähr 15 cm

weit und die andere *b* etwas seitwärts von ersterer, etwa 30 cm weit vom Auge sichtbar sind.

Richtet man nun den Blick auf die Nadel *b*, so wird man dieselbe ohne die geringste Anstrengung sehr deutlich sehen, aber das Bild von *a* ist undeutlich und mehr oder weniger verbreitert. Jetzt versuche man dieses undeutliche Bild der Nadel *a* deutlich zu machen. Man wird leicht genug im stande sein, dies zu thun, aber nicht ohne gleichzeitig eine gewisse Anstrengung im Auge zu empfinden. Zugleich wird in demselben Verhältnisse, wie *a* deutlich wird, *b* undeutlich werden. Auch wird man mit der gröfsten Anstrengung niemals zu gleicher Zeit *a* und *b* deutlich und klar sehen können.

21. Die vielfachsten Erklärungen sind schon für dieses merkwürdige Anpassungsvermögen gegeben worden, aber die wahre Erklärung wurde gefunden durch genaue Bestimmung der Veränderungen, welche diese Thätigkeit begleiten. Wenn die Flamme einer Kerze etwas auf einer Seite und nahe vor das Auge einer Person gehalten wird, und man von einem geeigneten Punkte dieser Person ins Auge blickt, so sieht man drei Bilder von der Flamme, zwei aufrecht und eins verkehrt. Das eine aufrechte Bild wird von der Vorderseite der Hornhaut zurückgeworfen, welche wie ein konvexer Spiegel wirkt; das zweite rührt von der ebenso wirkenden vorderen Fläche der Krystalllinse her, während das verkehrte Bild von der hinteren Fläche der Krystalllinse hervorgebracht wird, die nach hinten konvex, nach vorn also konkav ist, weshalb sie wie ein konkaver Spiegel wirkt.

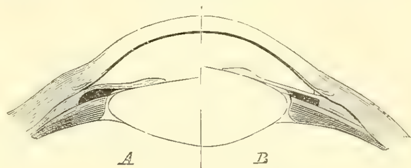


Fig. 78.

Stellt die Veränderung in der Form der Linse bei der Anpassung dar. *A* Anpassung für entfernte, *B* für nahe Gegenstände.

Nehmen wir an, das Auge würde auf einen entfernten Gegenstand gerichtet und dann auf einen näheren in derselben Gesichtslinie liegenden, während die Stellung des Augapfels unverändert bleibt. In diesem Falle bleibt das von der Oberfläche der Hornhaut reflektierte aufrechte Bild und das verkehrte Bild von der Rückseite der Linse unverändert, obgleich es nachweisbar ist, dass ihre Gröfse und scheinbare Lage sich verändern

müssten, wenn entweder die Hornhaut oder die Rückseite der Linse ihre Form oder ihre Lage veränderten. Aber das zweite aufrechte Bild, das von der Vorderfläche der Linse entworfene, verändert sich sowohl in der Gröfse als in seiner Lage, und zwar in einer Weise, welche beweist, dass die Vorderfläche der Linse stärker konvex geworden ist. Die Veränderung in der Form der Linse ist in der That eine solche, wie sie Fig. 77 darstellt.

Das ist es, was man als festgestellte Thatsache bezüglich der Anpassung betrachten kann, mit welcher alle Erklärungen dieses Vorganges übereinstimmen müssen. Dieselben schliefsen ohne weiteres folgende Annahmen aus: erstens, dass die Anpassung das Ergebnis der Zusammendrückung des Augapfels durch seine Muskeln sei — durch welche eine Veränderung in der Form der Hornhaut verursacht würde; zweitens, dass die Anpassung durch eine Verschiebung der Linse im ganzen bewirkt würde — da ihre hintere Fläche sich doch gar nicht bewegt; drittens, dass sie durch einen Druck der Regenbogenhaut auf die Vorderfläche der Linse zu stande käme — wobei wieder die hintere Fläche der Linse nicht unbewegt bleiben würde. Diese letzte Annahme wird ferner dadurch entkräftet, dass die Anpassung ebenso gut stattfindet, wenn die Regenbogenhaut gänzlich fehlt.

Es bleibt eine andere Erklärung übrig, welche nicht nur vom anatomischen Standpunkte sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, sondern auch durch den Versuch bewiesen worden ist. Die Linse, die selbst sehr elastisch ist, wird gewöhnlich durch den Zug ihres straffgespannten Aufhängebandes in einem Zustande von Spannung erhalten und hat folglich eine flachere Form, als wenn sie sich selbst überlassen bliebe. Wenn der Ciliarmuskel sich zusammenzieht, muss, wie wir gesehen haben, jenes Band nachgeben, und dadurch die elastische Anspannung der Linse sich verringern. Diese Linse wird infolge dessen stärker konvex, nimmt aber ihre erste Gestalt wieder an, sobald die Zusammenziehung des Ciliarmuskels aufhört und die Aderhaut in ihre gewöhnliche Lage zurückkehren lässt.

Wenn dies die richtige Erklärung der Anpassung ist, so muss das Gefühl von Anstrengung, welches wir bei der Anpassung für die Nähe haben, von der Zusammenziehung des Ciliarmuskels herrühren.

22. Die Anpassung kann nur innerhalb gewisser Grenzen stattfinden, welche bei verschiedenen Personen in hohem Grade wechselt.

Menschen mit normalen Augen, wie sie die Mehrzahl besitzen, können dieselben durch Anpassung bis auf eine Entfernung von etwa 15 cm einstellen; nähere Gegenstände dagegen geben verwaschene, undeutliche Bilder und werden deshalb undeutlich gesehen. Man nennt deshalb jene Entfernung den Nahpunkt des normalen Auges, als den nächsten, für welchen noch akkomodiert werden kann. Bei normalen Augen kann deutliches Sehen auch für die entferntesten Gegenstände stattfinden. Die Bilder sehr entfernter Gegenstände auf der Netzhaut bleiben immer scharf; da sie aber sehr klein sind, so kann freilich die Erkennung von Einzelnheiten Schwierigkeiten machen.

Aber bei vielen Personen ist von der Geburt an oder infolge späterer Veränderungen der Nahepunkt viel näher an das Auge gerückt. Solche Personen können daher noch Gegenstände deutlich sehen, welche nur wenige Centimeter vom Auge entfernt sind. Aber Gegenstände in gröfserer Entfernung werden undeutlich auf der Netzhaut abgebildet. Solche Augen nennt man kurzsichtige. Die Kurzsichtigkeit ist zuweilen so grofs, dass die Gesichtszüge einer nur 1 bis 2 m entfernten Person nicht erkannt werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass selbst bei vollkommener Unthätigkeit des Ciliarmuskels die Brechung im Auge so stark ist, dass die Bilder von Gegenständen, welche nicht ganz nahe sind, vor die Netzhaut fallen. Durch Vorsetzen von Konkavgläsern vor das Auge kann diesem Fehler abgeholfen werden.

Die Ursache der Kurzsichtigkeit ist nicht immer die gleiche. Bei vielen Menschen beruht sie darauf, dass der Augapfel in der Richtung von vorn nach hinten länger ist als normal. Erzeugt man in der oben beschriebenen Wasser-Camera ein scharfes Bild von einem Objekt und entfernt dann den hinteren Schirm von der Linse und dem Uhrglas, so wird das Bild verwaschen. Bei normaler Länge des Augapfels dagegen kann Kurzsichtigkeit dadurch verursacht sein, dass die Cornea oder die Linse stärker gekrümmt sind als gewöhnlich.

Der entgegengesetzte Fehler, die Weitsichtigkeit, wobei der Nahepunkt sehr viel weiter vom Auge entfernt liegt, als

normal, kann gleichfalls angeboren sein. Weitsichtige sehen sehr entfernte Gegenstände ganz gut und scharf, müssen aber auch dazu schon ihre Ciliarmuskeln anstrengen und dadurch der Linse eine stärkere Krümmung geben. Die Ursache liegt meistens in zu großer Kürze der Augenaxe. Um nähere Gegenstände zu sehen, muss natürlich die Linse noch stärker gekrümmt werden, und dabei wird sehr bald die äußerste Grenze erreicht werden. Dem Fehler kann abgeholfen werden durch Konvexgläser.

Eine andere Art von Weitsichtigkeit kommt bei alten Leuten vor, sie rührt aber nur von einer Abnahme in der Akkomodationskraft her. Die Brechung im Auge geht ganz normal vor sich, aber der Ciliarmuskel kann nicht mehr mit voller Kraft wirken. Deshalb können nahe Objekte nicht deutlich gesehen werden, während dies mit entfernten ebensogut wie früher der Fall ist. Man bezeichnet den Zustand daher richtiger als „Altsichtigkeit (*Presbyopie*). Auch hier helfen Konvexgläser, welche dem ungenügenden Brechungsvermögen des Auges zu Hilfe kommen.

Bei der Wassercamera, welche wir in § 13 beschrieben haben, sieht man deutlich, dass das auf der Hinterwand entworfene Bild ein umgekehrtes ist. Das Bild eines Baumes z. B. zeigt die Wurzeln oben und die Zweige und Blätter nach abwärts hängend. Ebenso entspricht die linke Seite des Bildes der rechten Seite des Gegenstandes und umgekehrt. Ganz dasselbe ist mit dem auf der Netzhaut entworfenen Bilde der Fall. Es ist gleichfalls umgekehrt. Das Weitere hierüber vergl. Vorl. X, § 11.

23. Der Muskeln, welche den Augapfel bewegen, sind sechs an der Zahl: vier gerade Muskeln (*Mm. recti*)

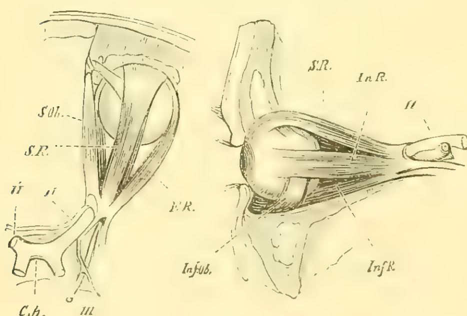


Fig. 79.

A **Die Muskeln des rechten Augapfels von oben, und** B **die des linken von der Aufsenseite gesehen.** *SR* der obere gerade; *InfR* der untere gerade; *ER* der äußere gerade; *InR* der innere gerade; *SOb* der obere schräge; *InfOb* der untere schräge; *Ch* das Chiasma der Sehnerven (*II*); *III* der dritte Hirnnerv, welche alle Augenmuskeln mit Ausnahme des oberen schrägen und des äußeren geraden versorgt.

und zwei schiefe Muskeln (*Mm. obliqui*). Die geraden Muskeln (vgl. Fig. 79) sind an der hinteren Wand der Augenhöhle, rund um die Ränder des Loches, durch welches der Sehnerv eintritt, befestigt und laufen in gerader Richtung nach vorn bis an ihre Ansatzstellen in der weifsen Haut — einer, der obere gerade Muskel, in der Mittellinie oben, einer, der untere, ersterem gegenüber unten, und einer auf jeder Seite gerade in der Mitte zwischen den beiden ersteren, der äufsere und der innere gerade Muskel. Der Augapfel ist hinten und an den Seiten vollständig in ein Fettpolster eingebettet, und die Muskeln drehen ihn auf diesem Polster herum: der obere gerade zieht die Axe des Auges hinauf, der untere hinunter, der äufsere nach aufsen, der innere einwärts.

Die beiden schiefen Muskeln sind beide an der äufseren Seite des Augapfels befestigt und zwar etwas hinter seinem Mittelpunkte: sie ziehen beide den Befestigungspunkt in der Richtung nach der inneren Wand der Augenhöhle: — der untere, weil er hier entspringt, der obere, obgleich wie die geraden von der Rückwand der Augenhöhle kommend und nach vorn zu laufend, weil er an der oberen und inneren Ecke der Augenhöhle sehnig geworden, durch eine rollenartige Sehnenschlinge läuft und sich dann nach unten und auswärts zur Anheftungsstelle wendet. Die Wirkung der schiefen Muskeln ist etwas verwickelt, aber im allgemeinen kommt sie darauf hinaus, den Augapfel um seine Axe zu rollen und ein wenig vorwärts oder einwärts zu ziehen.

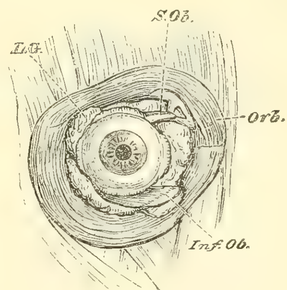


Fig. 80.

Vorderansicht des Auges nach Abtragung der Oberhaut der Augenlider. *Orb* Kreismuskel der Augenlider; *SOb* der obere schräge Augenmuskel mit seiner Rolle; *InfOb* der untere schräge Augenmuskel; *LG* die Thränendrüse.

24. Die Augenlider sind Hautfalten, welche dünne Knorpelplättchen enthalten, an ihren Rändern mit Haaren, den Augenwimpern, befranzt und mit einer Reihe kleiner Drüsen, den Meibom'schen Drüsen, versehen sind. Im Kreise gelagerte Fasern quergestreifter Muskeln liegen unter der Oberhaut der Augenlider und bilden den Schliefsmuskel (*Orbicularis palpebrarum*), welcher sie schliefst. Das obere Augenlid wird durch

einen besonderen Muskel erhoben, den Hebemuskel des oberen Lides (*Levator palpebrae superioris*), welcher im Hintergrunde der Augenhöhle entspringt und nach vorn läuft, um in dem Lide zu enden.

Das untere Augenlid hat keinen besonderen Niederziehmuskel.

25. An dem Rande der Augenlider setzt sich die Oberhaut in eine zarte gefäfs- und sehr nervenreiche Schleimhaut, die Bindehaut (*conjunctiva*), fort, welche das Innere der Augenlider und die Vorderseite des Augapfels bekleidet, und deren Epithelschicht sich sogar über die Hornhaut erstreckt. Die zahlreichen kleinen Ausführungsgänge einer Drüse, welche in der Augenhöhle an der äufseren Seite des Augapfels liegt (vgl. Fig. 80. LG), der Thränendrüse, ergiefsen beständig ihre wässerige Absonderung in den Zwischenraum zwischen dem das obere Lid bekleidenden und dem den Augapfel bedeckenden Teil der Bindehaut. An der inneren Seite des Auges sitzt eine rötliche Falte, die Thränenkarunkel, eine Art Ansatz zu einem dritten Augenlide, wie es bei vielen Tieren gefunden wird. Oben und unten zeigt jedes Augenlid noch eine kleine Öffnung, den Thränenpunkt, als Mündung eines kleinen Kanales. Die Kanäle von oben und von unten laufen zusammen und öffnen sich in den Thränensack, dem oberen blinden Ende des Thränenganges (LD, Fig. 81), welcher von der Augenhöhle nach der Nase herunter führt und sich unterhalb der unteren Muschel öffnet (vgl. Fig. 40. h). Durch dieses Kanalsystem setzt sich die Bindehaut in die Nasenschleimhaut fort, und durch dasselbe wird die Absonderung des Thränenorganes gewöhnlich ebenso schnell fortgeführt, als sie entsteht.

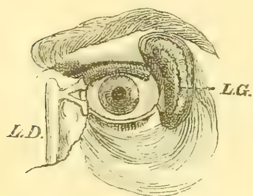


Fig. 81.

Vorderansicht des Auges mit den Augenlidern. *LG* die Thränendrüse; *LD* der Thränengang.

Aber unter gewissen Umständen, wenn die Bindehaut etwa durch stechende Dämpfe gereizt wird, oder bei schmerzhaften Erregungen des Bewusstseins, übersteigt die Absonderung der Thränendrüse das Abfuhrvermögen des Thränenganges und die zwischen den Lidern angesammelte Flüssigkeit fliefst endlich in der Form von Thränen über.

ZEHNTE VORLESUNG.

Die Vereinigung von Empfindungen untereinander und mit anderen Zuständen des Bewusstseins.

1. Bei der Erklärung der Thätigkeiten der Sinnesorgane habe ich mich bisher darauf beschränkt, die Mittel zu beschreiben, durch welche die physische Ursache einer Empfindung befähigt wird, auf einen gegebenen Empfindungsnerven einzuwirken, und die so zu stande gebrachten einfachen Empfindungen einigermafsen zu erläutern.

Einfache Empfindungen dieser Art sind diejenigen, welche durch Reizung einer einzelnen Nervenfaser oder mehrerer Nervenfasern durch dieselbe Ursache hervorgebracht werden. Solches sind die Empfindungen von Berührung, Wärme, Süfsigkeit, von einem Geruche, einem musikalischen Tone, von Weifs oder Rot.

Aber sehr wenige unserer Empfindungen sind derartig einfach. Sogar die meisten von denen, welche wir gewöhnlich für einfache halten, sind in der That Zusammensetzungen von verschiedenen gleichzeitigen Empfindungen oder von gegenwärtigen Empfindungen mit Vorstellungen von vorhergegangenen oder mit solchen Vorstellungen der Beziehung, welche die Grundlage von Urteilen sind. Z. B. in den angeführten Fällen ist es sehr schwer, die Empfindung von Berührung zu trennen von dem Urteile, dass etwas, d. h. ein äufserer Gegenstand uns berührt, die Empfindung von Süfsigkeit von der Vorstellung von etwas im Munde befindlichen, die von Ton oder Licht von dem Urteile, dass etwas aufser uns tönt oder leuchtet.

2. Die Empfindungen des Geruchsinnes sind am einfachsten, d. h. am wenigsten mit solchen anderweitigen Empfindungen, Vorstellungen und Urteilen verknüpft. So verbreiten sich z. B. Moschusteilchen mit grofser Schnelligkeit in den Nasengängen

und verursachen die Empfindung eines starken Geruches. Aber aufser der etwas unbestimmten Erkenntnis, dass der Geruch in der Nase seinen Sitz habe, wird diese Empfindung von keinen Vorstellungen von Örtlichkeit oder Richtung begleitet. Noch weniger veranlasst sie irgend welche Vorstellung von Gestalt, Gröfse, Kraft, Aufeinanderfolge oder Gleichzeitigkeit. Wenn ein Mensch keinen anderen Sinn als den Geruchsinn hätte, und Moschus die einzige riechbare Substanz wäre — so könnte er keine richtige Vorstellung von einer Aufsenwelt haben: kein Vermögen zwischen sich und der Aufsenwelt zu unterscheiden.

3. Man stelle dem gegenüber die, allem Anscheine nach ebenso einfache Empfindung, welche man hat, wenn man bei geschlossenen Augen mit dem Finger über die Tischplatte fährt. Diese Handlung giebt einem die Empfindung einer aufser uns befindlichen, ebenen, harten Fläche, welche ebenso einfach zu sein scheint wie der Geruch von Moschus; in Wirklichkeit aber ist es ein verwickelter Zustand des Bewusstseins, zusammengesetzt aus:

a. Empfindungen von Berührung.

b. Muskelempfindungen von zweierlei Art, die einen von dem Widerstande des Tisches — die anderen von der Thätigkeit der den Finger bewegenden Muskeln herrührend.

c. Vorstellungen von der zeitlichen Aufeinanderfolge dieser Empfindungen.

d. Vergleichungen dieser Empfindungen und ihrer Reihenfolge mit der Erinnerung ebensolcher, ähnlich angeordneter Empfindungen, welche bei früheren Gelegenheiten entstanden waren.

e. Erinnerungen der Eindrücke von Ausdehnung, Glätte u. a. m., welche das Gesichtsorgan empfing, während jene früheren Tast- und Muskelempfindungen entstanden waren.

So sind in diesem Falle die einzigen reinen Empfindungen die der Berührung und der Muskelthätigkeit. Der gröfsere Teil dessen, was wir für Empfindung halten, ist eine zusammengesetzte Masse gegenwärtiger und ins Gedächtnis zurückgerufener Vorstellungen und Urteile.

4. Sollte noch irgend ein Zweifel bleiben, dass wir so unsere Empfindungen mit unseren Urteilen zu einem untrennbaren Ganzen vermischen, so schliefse man die Augen wie vorher und

anstatt den Tisch zu berühren, nehme man einen runden Bleistift zwischen die Finger und streiche damit über den Tisch. Die „Empfindung“ einer ebenen harten Oberfläche wird ebenso deutlich sein als bei dem vorigen Versuche; dennoch ist das, was wir berühren, nichts weiter als die runde Oberfläche des Bleistiftes, und die einzigen reinen Empfindungen, die wir dem Tische verdanken, sind die durch den Muskelsinn vermittelten. In der That ist in diesem Falle unsere „Empfindung“ einer ebenen harten Fläche ganz und gar nur ein Urteil, begründet auf das, was uns der Muskelsinn über einen Vorgang in gewissen Muskeln mitteilt.

Ein noch auffallenderes Beispiel von der Beharrlichkeit, mit welcher wir zusammengesetzte Urteile als reine Empfindungen auffassen, ohne sie anders als durch ein abstraktes Denkverfahren in ihre Bestandteile zerlegen zu können, giebt uns die Wahrnehmung der Rundung.

Jeder, der eine kleine Kugel (eine Erbse) zwischen zwei Finger nimmt, wird behaupten, er fühle einen einfachen runden Körper; er wird aber wahrscheinlich ebenso wenig die Frage beantworten können, wieso er wisse, dass der Körper rund sei, als wenn man ihn früge, woher er wisse, dass ein Geruch ein Geruch ist.

Nichtsdestoweniger entsteht in diesem Fall der Begriff der Rundung aus einem sehr zusammengesetzten Urteil, und dass dem so ist, mag durch einen sehr einfachen Versuch erläutert werden. Kreuzt man den Zeige- und den Mittelfinger und legt die Erbse so zwischen beide, dass beide Finger sie berühren, so wird es ganz unmöglich sein, die Vorstellung zu vermeiden, dass, anstatt einer, zwei Erbsen da seien. Selbst wenn man hinsieht und sich durch den Augenschein von dem Vorhandensein nur einer Erbse überzeugt, wird der vom Tastgefühle geführte Scheinbeweis, dass zwei da sind, nicht abgeschwächt.*

In Wahrheit sind nämlich unsere Vorstellungen von Einfachheit und Rundung wirklich sehr verwickelte, auf einige einfache Empfindungen gegründete Urteile; wenn nun die gewöhn-

* Eine scherzhafte Art dieses Versuches besteht darin, dass man die gekreuzten Finger an die Nasenspitze legt; dieselbe wird dann doppelt gefühlt, und so thöricht diese Vorstellung ist, kann das Bewusstsein sie doch nicht los werden, so lange die Empfindung anhält.

lichen Bedingungen dieser Urteile verkehrt werden, so wird das Urteil auch verkehrt.

Bei der gewöhnlichen Stellung des Zeige- und Mittelfingers freilich ist es unmöglich, dass die Aufsenseiten beider mit entgegengesetzten Flächen eines kugelförmigen Körpers in Berührung kommen. Wenn bei der natürlichen und gewohnten Stellung der Finger die Aufsenflächen beider uns gleichzeitig den Eindruck einer Kugelform geben, welcher an und für sich schon ein zusammengesetztes Urteil ist, so liegt es in der Natur der Dinge, dass zwei Kugeln da sein müssen. Aber wenn die Finger über einer Erbse gekreuzt werden, so berührt wirklich die Aufsenseite eines jeden Fingers eine und dieselbe Kugel, und das Bewusstsein, ohne von dieser Thatsache der Kreuzung Kenntnis zu nehmen, urteilt in Übereinstimmung mit seiner allgemeinen Erfahrung, dass die wahrgenommenen Empfindungen nicht von einer, sondern von zwei Kugeln herrühren.

5. Erscheinungen dieser Art werden gemeiniglich Sinnestäuschungen genannt; aber eingebildete oder vorgetäuschte Empfindungen giebt es nicht. Eine Empfindung muss vorhanden sein, um eine Empfindung zu sein; und wenn sie vorhanden ist, dann ist sie wirklich und keine Täuschung. Die Urteile dagegen, welche wir uns über die Ursachen und Bedingungen wahrgenommener Empfindungen bilden, sind sehr oft irrig und täuschend genug; und solche Urteile können in dem Gebiete eines jeden Sinnes zu stande gebracht werden, entweder durch künstlich hergestellte Vereinigungen von Empfindungen, oder durch den Einfluss ungewöhnlicher Zustände im Befinden des Körpers selbst. Die letzteren geben Anlass zu den sogenannten subjektiven Empfindungen.

Die Menschheit würde weniger Täuschungen unterworfen sein als sie ist, wenn sie sich beständig an ihren Hang zu falschen Urteilen erinnerte, welche auf ungewöhnlichen, entweder künstlichen oder natürlichen Verbindungen wahrer Empfindungen beruhen. Die Menschen sagen: „ich fühlte“, „ich hörte“ „ich sah“ dies oder das, wenn in neunundneunzig Fällen von hundert ihre wahre Meinung ist, dass nach ihrem Urteile gewisse, dem Bewusstsein zugeführte Empfindungen des Gefühls, Gehörs oder Gesichts von diesen oder jenen Dingen verursacht waren.

6. Zu den subjektiven Empfindungen im Gebiete des

Gefühls gehören die Empfindungen von Kribbeln und Prickeln der Haut, welche zuweilen durch gewisse Zustände des Blutumlaufes hervorgerufen werden, wahrscheinlich aber häufiger durch Vorgänge im Centralnervensystem bedingt sind. Der subjektive üble Geruch und schlechte Geschmack, welcher einige Krankheiten begleitet, kommt sehr wahrscheinlich von ähnlichen Störungen in den centralen Endorganen der Geruch- und Geschmacknerven her.

Manche Personen werden von einer Art Ohrengespenster behelligt, einer mehr oder weniger zusammengesetzten Musik, welche bei völligem Wachsein, ohne jede äufsere Ursache, in ihren Ohren ertönt. Ich weifs nicht, ob andere Personen etwas Ähnliches kennen, aber wenn ich ein von einer mir bekannten Person geschriebenes Buch lese, so werde ich zuweilen dadurch geplagt, dass ich die Worte aussprechen höre, genau als ob jene Person sie spräche, und auch jede Eigentümlichkeit in der Stimme und Gebärde wahrnehme, die sie nach ihrer Gewohnheit dabei anwenden würde. Indessen glaube ich, dass schon jedermann zu Zeiten betroffen gewesen ist von der aufserordentlichen Deutlichkeit, mit welcher seine Gedanken sich in scheinbaren Stimmen verkörpert haben.

Die wunderbarsten Beispiele von subjektiver Empfindung werden jedoch durch den Gesichtssinn geliefert.

Wer je Zeuge der Leiden eines vom Delirium tremens (einer durch Trunksucht verursachten Krankheit) befallenen Menschen war, von der erstaunlichen Deutlichkeit seiner Visionen, welche zuweilen die Gestalt von Teufeln, zuweilen von kriechenden Tieren, aber fast immer von etwas Erschreckendem oder Beängstigendem annehmen, wird keinen Zweifel hegen über die Stärke subjektiver Empfindungen im Gebiete des Gesichtssinnes.

7. Aber damit täuschende Visionen von grofser Deutlichkeit auftreten, ist es nicht nötig, dass das Nervensystem so unverkennbar gestört sei. Menschen im Vollbesitze ihrer Kräfte und von hoher geistiger Begabung können solchen Erscheinungen, für welche sich keine bestimmte Ursache angeben lässt, unterworfen sein. Ein ausgezeichneter Beleg hierfür ist der berühmte Fall der Frau A., den Sir David Brewster in seiner *Natürlichen Magie* anführt.

Diese Dame war aufsergewöhnlich lebhaften Gehörs- und

Gesichtshalluzinationen unterworfen. So sah sie einmal ihren Gemahl vor sich stehen und sie mit ernster Miene fest und unverwandt anblicken, obgleich derselbe zu jener Zeit an einem anderen Orte war. Ein andermal hörte sie ihn wiederholt nach ihr rufen, obgleich er damals gar nicht in der Nähe sich befand. Wieder ein andermal sah sie im Zimmer eine Katze auf dem Teppich liegen; und die Erscheinung war so lebhaft, dass es ihr grofse Mühe machte, sich zu überzeugen, dass keine Katze da war. Die ganze Darstellung ist sehr lesenswert (vgl. Anhang B).

Es ist klar, dass nur der seltene Mut und der helle Verstand der Frau A. sie davor schützten, eine Fundgrube vortrefflich beglaubigter Gespenstergeschichten zu werden. Der besondere Wert ihrer Geschichte liegt eben in dem Beweise, dass das klarste Zeugnis des allertadelfreiesten Zeugen durchaus keinen Schluss zulässt auf die objektive Wirklichkeit dessen, was der Zeuge gesehen hat.

Frau A. sah zweifellos das, was sie gesehen zu haben aussagte. Das Zeugnis ihrer Augen in bezug auf die Existenz der Erscheinungen und ihrer Ohren betreffs der Stimmen war an und für sich ebenso vollkommen glaubwürdig, als es gewesen wäre, wenn die Dinge wirklich existiert hätten. Denn es unterliegt keinem Zweifel, dass genau dieselben Teile ihrer Netzhaut, welche durch das Bild einer Katze erregt worden wären, und genau dieselben Teile ihres Gehörorganes, welche ihres Mannes Stimme zum Schwingen gebracht hätte, oder diejenigen Teile des Gehirns, welche mit jenen Sinnesorganen verbunden sind, durch irgend eine innere Ursache in denselben Zustand von Erregung versetzt worden sind.

Was die Sinne bezeugen, ist nichts mehr und nichts weniger als die Thatsache ihrer eigenen Erregung. In betreff der Ursache dieser Erregung sagen sie uns durchaus nichts, sondern überlassen es dem Denkvermögen, sich ein eigenes Urteil über den Gegenstand zu bilden. Eine eilfertige und abergläubische Person an Frau A.'s Stelle würde ein falsches Urteil gebildet haben und würde dabei verharrt sein, mit dem Beweisgrunde, dass „sie ihren Sinnen trauen müsse“.

8. Die Täuschungen des Urteils, welche nicht nur durch abnorme Zustände des Körpers, sondern durch ungewohnte oder

künstliche Verbindungen von Empfindungen, wie auch durch Eingebung von Gedanken hervorgebracht werden, sind aufserordentlich zahlreich und gelegentlich sehr beachtenswert.

Einige davon, welche aus dem Tastgefühle entspringen, sind schon angeführt worden. Ich kenne keine, die vom Geruche oder Geschmacke veranlasst würden, aber das Gehör ist eine fruchtbare Quelle solcher Irrungen.

So glauben z. B. Viele, das sogenannte Bauchreden beruhe auf einer geheimnisvollen Kraft, die Stimme anderswo als im Kehlkopfe hervorzubringen. In Wahrheit aber handelt es sich nur darum, dass der Künstler Töne von besonderer Art nachahmen kann und zugleich gewandt genug ist, in uns den Glauben an die Existenz gewisser Ursachen dieser Töne zu erregen. Wenn der Bauchredner z. B. glauben machen will, dass eine Stimme aus einem unterirdischen Gewölbe komme, so ahmt er die Töne solch einer halberstickten Stimme nach und erweckt den Glauben an die Existenz einer sie hervorbringenden Person, indem er seine Antworten und Gebärden nach unten richtet. Diese Gebärden und Töne sind solche, wie sie durch die von ihm angegebene Ursache hervorgebracht würden; und da keine andere Ursache ersichtlich ist, so lassen wir uns zu dem Glauben verleiten, dass die angegebene Ursache existiere.

9. Die Täuschungen des Urteils durch den Gesichtssinn, die sogenannten optischen Täuschungen, sind weit zahlreicher als irgend welche andere, weil eine so grofse Menge von dem, was wir für einfache Gesichtseindrücke halten, in der That sehr verwickelte Verbindungen von Gesichtsempfindungen, Tastempfindungen, Urteilen und Erinnerungen an frühere Empfindungen und frühere Urteile sind.

Es wird lehrreich sein, einige dieser Urteile in ihre Bestandteile aufzulösen und die Täuschungen durch Anwendung dieser Grundprinzipien zu erklären.

10. Wenn wir ein äufseres Objekt betrachten, so fällt das Bild des Objektes auf eine Netzhautstelle, welche an dem einen Ende einer geraden Linie liegt, die das Objekt mit der Netzhaut verbindet und durch den Mittelpunkt des Auges geht. Diese gerade Linie wird der Richtungsstrahl genannt. Umgekehrt, wenn irgend ein Teil der Oberfläche der Netzhaut erregt wird, so

wird die Lichtempfindung auf irgend einen aufserhalb des Körpers liegenden Punkt bezogen, welcher in der Richtung dieses Richtungsstrahles liegt.

Wenn ein äufserer Körper durch das Gefühl als an einer bestimmten Stelle befindlich wahrgenommen wird, so fällt das Bild dieses Körpers auf einen Teil der Netzhaut. Umgekehrt, wenn ein Teil der Netzhaut erregt wird, was auch immer der Grund der Erregung sei, so beziehen wir die Empfindung stets auf eine Ursache aufserhalb unseres Körpers, so gelegen, dass ihr Bild auf jenen Netzhautteil fallen würde.

Hierin liegt der Grund dafür, dass, wenn eine Lichterscheinung erzeugt wird, z. B. durch einen Druck auf die äufsere untere Seite des Augapfels, das leuchtende Bild auf der oberen, inneren Seite des Auges erscheint. Jeder äufsere Gegenstand, welcher die Lichtempfindung auf dem gedrückten Teile der Netzhaut hervorbringen könnte, müsste wegen der Umkehrung der Bilder (vgl. Vorl. IX, § 23) in der That diese Lage einnehmen, und wir beziehen daher das gesehene Licht auf einen ebendaselbst gelegenen Gegenstand.

11. Dieselbe Erklärungsweise ist auf den scheinbaren Widersinn anwendbar, dass wir die Gegenstände aufrecht sehen, obgleich ihre Bilder durch die brechenden Medien unbestritten verkehrt auf der Netzhaut entworfen werden. Dies ist schwer zu begreifen, bis man sich klar macht, dass die Netzhaut in sich keine Mittel hat, um dem Verstande anzuzeigen, welcher ihrer Teile oben und welcher unten liegt; und dass der Verstand einen Eindruck auf der Netzhaut hoch oder niedrig, rechts oder links nennt, einfach auf Grund der Verbindung eines solchen Eindruckes mit gewissen gleichzeitig erfolgenden Eindrücken des Tastgefühles. In anderen Worten: bei Erregung eines Teiles der Netzhaut wird der die Erregung verursachende Gegenstand nahe zur rechten Hand liegend gefunden, bei Erregung eines anderen zur linken; bei dem einen muss die Hand erhoben werden, um den Gegenstand zu erreichen, bei einem anderen muss sie gesenkt werden. So werden nun die jeweiligen Eindrücke auf die Netzhaut rechts, links, oben und unten genannt, gänzlich unabhängig von ihrer wirklichen Lage auf der Netzhaut, von der der Verstand keine Kenntnis hat, noch haben kann.

12. Wenn ein äufserer Körper durch Tasten als einzeln erkannt wird, entwirft er nur ein Bild auf der Netzhaut eines einzelnen Auges; und wenn zwei oder mehr Bilder auf die Netzhaut eines einzelnen Auges fallen, so rühren sie gewöhnlich von einer entsprechenden Anzahl von Körpern her, die auch durch Tasten unterschieden werden können.

Umgekehrt wird also die Empfindung von zwei oder mehr Bildern von dem Verstande als von zwei oder mehr Gegenständen herrührend beurteilt.

Wenn man mit einer Nadel in ein Kartenblatt zwei Löcher macht, deren Abstand voneinander kleiner ist als der Durchmesser der Pupille, und man hält einen kleinen Gegenstand, wie einen Stecknadelkopf, dicht vor das Auge und betrachtet ihn durch diese Löcher, so wird man zwei Bilder von dem Nadelkopfe sehen. Der Grund hiervon ist, dass die von dem Nadelkopfe ausgehenden Lichtstrahlen durch die Karte in zwei Büschel gespalten werden, welche getrennt und nebeneinander in das Auge fallen und wegen der grofsen Nähe der Nadel am Auge auf die Netzhaut fallen, ehe sie wieder in einen Punkt vereinigt werden können. Sie fallen daher auf verschiedene Teile der Netzhaut, und da jeder Büschel sehr klein ist, entwirft er ein leidlich deutliches Bild an seinem Platze. Jedes dieser Bilder wird nun in der Richtung seines zugehörigen Richtungsstrahles nach aufsen versetzt (vgl. § 10), und so werden scheinbar zwei Nadeln anstatt einer einzigen gesehen. Dieselbe Erklärung passt für die Vervielfältigungsgläser und die doppelt brechenden Krystalle, welche, beide in ihrer Art, die von einem einzelnen Gegenstande herrührenden Lichtbüschel in zwei oder mehrere getrennte Strahlenbündel spalten. Diese geben dann ebensoviele Bilder, von denen ein jedes von dem Verstande auf einen besonderen äufseren Gegenstand bezogen wird.

13. Bestimmte Gesichtserscheinungen begleiten gewöhnlich jene Ergebnisse der Tastempfindung, welchen wir die Namen Gröfse, Entfernung und Gestalt geben. So kommt es, dass bei sonst gleichen Verhältnissen der Raum der Netzhaut, welcher von dem Bilde eines grofsen Gegenstandes bedeckt wird, gröfser ist als der von einem kleinen Gegenstande bedeckte; dass ferner

der von einem nahen Gegenstande bedeckte gröſser als der von einem entfernten Gegenstande bedeckte ist, und dass unter sonst gleichen Umständen ein naher Gegenstand stärker leuchtend erscheint, als ein entfernter. Ferner unterscheiden sich die Bilder der Gegenstände je nach der Gestalt ihrer Oberflächen, wie sie durch das Tastgefühl bestimmt worden ist.

Umgekehrt, wenn diese Gesichtserscheinungen entstehen, rufen sie unvermeidlich die Vorstellung von dem Vorhandensein von Gegenständen hervor, welche die entsprechenden Tastempfindungen hervorbringen könnten.

Was man Perspektive nennt, sowohl die körperliche als die sogenannte Luftperspektive, ob bei Zeichnungen oder Malereien, beruht auf der Anwendung dieser Grundsätze. Es ist eine Art Bauchredekunst für das Gesicht — indem nämlich der Maler auf seine Leinwand alle notwendigen Bedingungen für die Erzeugung von Bildern auf der Netzhaut bringt, welche die Form, die verhältnismäſsige Gröſse und Farbenkraft von solchen Bildern haben, wie sie von den entsprechenden Gegenständen selbst hervorgebracht werden würden. Und die Wirkung des Gemäldes, was seine Naturtreue anlangt, hängt von dem Grade der Ähnlichkeit ab zwischen den Bildern, welche es auf der Netzhaut erzeugt, und denen, welche von den dargestellten Gegenständen selbst hervorgebracht würden.

14. Den meisten Menschen erscheint das Bild einer Stecknadel, 7 bis 10 cm weit vom Auge, trübe und undeutlich, weil das Auge der Anpassung auf einen so nahen Punkt nicht fähig ist. Bringt man ein kleines Loch in einem Kartenblatt dicht vor das Auge, so werden die Randstrahlen, welche die Undeutlichkeit verursachen, abgeschnitten, und das Bild wird deutlich. Aber gleichzeitig erscheint der Gegenstand gröſser, weil das Bild eine gröſsere Ausdehnung auf der Netzhaut hat, wenn die Nadel nahe, als wenn sie fern ist. Alle konvexen Gläser haben dieselbe Wirkung, während konkave Linsen die scheinbare Gröſse eines Gegenstandes verringern, weil sie den Raum seines Bildes auf der Netzhaut verkleinern.

15. Der Mond oder die Sonne, wenn sie nahe am Horizont stehen, erscheinen viel gröſser, als wenn sie hoch am Himmel

sind. In der letzteren Stellung haben wir in der That nichts, womit wir sie vergleichen könnten, und der kleine Raum, welchen ihre Bilder auf der Netzhaut bedecken, lässt auf einen in Wirklichkeit kleinen Umfang schliefsen. Aber beim Auf- oder Untergange erscheinen sie hinter hohen Bäumen und Gebäuden, die wir als sehr grofs und fern kennen, und nehmen doch den gleichen Raum auf der Netzhaut ein. Daher die unbestimmte Vorstellung von ihrer gröfseren Ausdehnung.

16. Beleuchtet man eine konvexe Fläche von einer Seite, so ist die dem Lichte zugewandte Seite hell, die vom Lichte abgewandte dunkel oder beschattet — während bei einer konkaven die zum Lichte gekehrte Seite beschattet und die entgegengesetzte hell ist.

Wenn man eine neue Münze oder Medaille mit gut hervorragendem Kopfe seitwärts mit einer Kerze beleuchtet, erkennt man an der Verteilung von Licht und Schatten sogleich, dass der Kopf erhaben (wie bei einer Camee) ist, und bei einer in derselben Weise beleuchteten vertieftgeschnittenen Medaille (Intaglio), auf welcher der Körper ausgehöhlt ist, beurteilt das Auge ebenso schnell die Beschaffenheit.

Wenn aber nun von einem der so beleuchteten Gegenstände durch eine konvexe Linse ein umgekehrtes Bild entworfen wird, werden auch seine hellen und dunkeln Seiten vertauscht. Mit dieser Umkehrung ändert sich auch das Urteil, so dass die Camee für ein Intaglio und das Intaglio für eine Camee angesehen wird, denn das Licht kommt noch von derselben Stelle, aber die Camee scheint die Schatten des Intaglio zu haben und umgekehrt. Indessen ist die Auslegung der Thatsachen doch so ganz und gar Sache des Urteils, dass, wenn eine Nadel neben der Medaille aufgestellt wird, so dass sie einen Schatten wirft, die Umkehrung der Nadel und ihres Schattens durch die Linse daran erinnert, dass die Richtung des Lichtes auch umgekehrt worden ist, worauf die Medaillen wieder als das, was sie wirklich sind, erscheinen.

17. Wenn ein äufserer Gegenstand betrachtet wird, welcher schnellen Veränderungen seiner Gestalt unterworfen ist, so fällt eine fortlaufende Reihe verschiedener Bilder dieses Gegenstandes auf denselben Fleck der Netzhaut.

Umgekehrt, wenn eine fortlaufende Reihe verschiedener Bilder eines Gegenstandes auf einen Teil der Netzhaut geworfen wird, so urteilt der Verstand, dass sie von einem und demselben äufseren Gegenstande herrühren, welcher Veränderungen der Gestalt unterliegt.

Dies ist das Prinzip des merkwürdigen Spielzeuges, welches Thaumatrop, Zootrop oder „Lebensrad“ genannt wird, und bei welchem man, durch schmale Einschnitte blickend, Bilder von Gauklern, welche Bälle in die Höhe werfen und wieder auffangen, oder von Knaben, die einer über den anderen bockspringen, sieht.* Dies wird dadurch erreicht, dass man auf eine kreisförmige Scheibe von Pappe in gewissen Zwischenräumen Bilder von Gauklern malt in den verschiedenen Stellungen des Ballauswerfens, des Wartens und Auffangens; oder Knaben, von denen einer den Rücken hinhält, der nächste springt und ein dritter in der Stellung nach dem Sprunge dasteht. Man bringt nun die Scheibe vor einer Öffnung in schnelle Drehung, so dass jedes Bild nur einen Augenblick sichtbar wird und seinem Vorgänger folgt, ehe der Eindruck des letzteren erloschen ist. So erweckt der Wechsel verschiedener Bilder unwiderstehlich die Vorstellung von einem oder einigen sich hintereinander verändernden Gegenständen — die Gaukler scheinen die Bälle zu werfen und aufzufangen, die Knaben übereinander zu springen u. s. f.

18. Wenn ein äufserer Gegenstand durch Tasten als einzeln erkannt ist, fallen die Mittelpunkte seiner Netzhautbilder auf die Mittelpunkte der gelben Flecke beider Augen, sobald beide Augen auf den Gegenstand gerichtet sind; wenn aber zwei äufsere Gegenstände da sind, so können die Mittelpunkte ihrer beiden Bilder nicht zu gleicher Zeit auf die Mittelpunkte der gelben Flecke fallen.

Umgekehrt, wenn die Mittelpunkte von zwei, gleichzeitig in beiden Augen erzeugten Bildern auf die Mittelpunkte der gelben Flecke fallen, urteilt der Verstand,

* Der Apparat ist neuerdings von dem Photographen Anschütz sehr verbessert worden. Indem statt der willkürlich entworfenen Zeichnungen photographische Momentaufnahmen von sich bewegenden Menschen oder Tieren zur Anwendung kommen, gewährt dieser „Schnellseher“, wie ihn Anschütz nennt, viel bessere und natürlichere Darstellungen der betreffenden Bewegungen.

dass nur ein Gegenstand vorhanden sei. Fallen sie aber nicht auf jene Punkte, dann glauben wir zwei Gegenstände zu sehen.

Dies scheint die einzige annehmbare Erklärung für die Thatsache, dass ein Gegenstand, welcher beim Betasten und mit einem Auge gesehen einzeln erscheint, auch wenn er mit beiden Augen betrachtet wird, einzeln erscheint, obgleich notwendig zwei Bilder von ihm entstehen; und andererseits, dass, wenn die Mittelpunkte der beiden Bilder von einem einzelnen Gegenstande nicht auf die Mittelpunkte der gelben Flecke fallen, beide Bilder getrennt gesehen werden, d. h. dass wir doppelt sehen. Beim Schielen laufen die Axen beider Augen nicht gleichmäfsig in dem betrachteten Gegenstande zusammen. Die Folge davon ist, dass, wenn der Mittelpunkt des Netzhautbildes des einen Auges auf dessen gelben Fleck fällt, der entsprechende Teil des Bildes im anderen Auge dies nicht thut, wodurch Doppelsehen entsteht.

Der Einfachheit wegen haben wir vorausgesetzt, dass die beiden Bilder auf die Mittellinie der gelben Flecke fallen. Aber obgleich ein genaues und scharfes Sehen in der That nur mittelst des gelben Fleckes stattfindet, so ist das Sehen doch nicht auf diesen beschränkt. Und auch wenn die Bilder eines Gegenstandes auf mehr periphere Teile der Netzhäute fallen, kann Einfachsehen stattfinden. Dazu ist nur nötig, dass die beiden Stellen, auf welche die Bilder in den beiden Augen fallen, gleiche Lage gegen die Mittelpunkte der beiden Netzhäute haben. Zwei derartige, in gleicher Weise auf den Netzhäuten gelegene Punkte nennt man korrespondierende Punkte. Alle Bilder, welche auf korrespondierende Netzhautstellen fallen, werden so wahrgenommen, als kämen sie von einem und demselben Objekte. Es ist zu bemerken, dass die innere (oder Nasen-) Seite der einen Netzhaut korrespondierend ist zu der äufseren (Schläfen-) Seite der anderen.*

* Um dies besser zu verstehen, stelle man sich vor, die Augen ständen so, wie es beim Geradeaussehen in die unendliche Ferne der Fall ist, so dass die Augenaxen einander parallel und horizontal sind. Nun denke man sich eine vertikale Ebene durch die beiden Augenmittelpunkte gelegt. Diese würde jeden Augapfel in eine vordere und eine hintere Hälfte zerlegen, deren letztere den gröfsten Teil der Netzhaut enthalten würde. Man lasse nun die eine Netzhaut unverrückt feststehen, die andere aber, ohne sie zu drehen, lege man auf die

19. Beim einfachen Sehen mit beiden Augen müssen sich die Axen der beiden Augen, von deren Bewegung uns der Muskelsinn Kunde giebt, in einem gröſseren Winkel schneiden, wenn der Gegenstand nahe, und in einem kleineren Winkel, wenn er entfernt von uns ist.

Umgekehrt, wenn bei unveränderter Lage eines Gegenstandes die Axen der beiden ihn betrachtenden Augen zum Zusammen- oder Auseinanderlaufen veranlasst werden können, wird der Gegenstand sich zu nähern oder zu entfernen scheinen.

In dem Pseudoskop genannten Instrumente sind Spiegel oder Prismen so angebracht, dass die von einem festliegenden Gegenstande ausgehenden Strahlen genötigt werden können, unter verschieden groſsen Winkeln in die Augen zu fallen, wodurch die Axen dieser Augen veranlasst werden, mehr oder weniger groſse Winkel miteinander zu machen. Im ersteren Falle scheint der Gegenstand sich zu nähern, im letzten glaubt man, er entferne sich.

20. Wenn ein Körper von mäſsiger Gröſse, der durch Tasten als solcher erkannt ist, mit beiden Augen gesehen wird, so sind die in den beiden Augen entstandenen Bilder notwendig verschieden (das eine zeigt mehr von seiner rechten, das andere mehr von seiner linken Seite). Dessenungeachtet vereinigen sich beide in einer Anschauung, welche den Eindruck des Körperhaften macht.

Umgekehrt, wenn die zwei Bilder von der rechten und linken Ansicht eines Körpers auf die Netzhäute beider Augen in der Weise geworfen werden, dass sie in eine Anschauung zusammenflieſsen, so urteilt der Verstand, dass sie von einem einzelnen Körper herrühren, welcher unter gewöhnlichen Umständen allein im stande wäre, solche Bilder hervorzubringen.

Das Stereoskop ist nach diesen Grundsätzen ausgesonnen. Einerlei in welcher Form, ist es immer so eingerichtet, dass es

---

erste. Die beiden Netzhäute müssen, da sie ganz gleiche Halbkugeln sind, vollkommen aufeinander passen. Alle Punkte, welche jetzt aufeinander liegen, sind korrespondierende Punkte der beiden Netzhäute.

die Bilder von zwei Abbildungen eines festen Körpers, wie sie das rechte und das linke Auge eines Beschauers erhalten würden, auf diejenigen Teile der Netzhäute der das Stereoskop benutzenden Person wirft, welche von diesen Bildern bedeckt würden, wenn sie wirklich von einem festen Körper herrührten. Der Verstand urteilt unmittelbar, dass sie von einem einzigen, äufseren Körper herrühren, und sieht solch einen Körper an Stelle der beiden Abbildungen.

Die Thätigkeit des Verstandes bei den Empfindungen, welche ihm von beiden Augen zugeführt werden, ist genau vergleichbar mit der, welche vor sich geht, wenn man eine Kugel zwischen dem Finger und dem Daumen hält und sie sofort für eine Kugel erklärt (vgl. § 4). Das was thatsächlich unserem Bewusstsein in diesem Falle durch das Tastgefühl zugeführt wird, ist keineswegs die Empfindung eines kugelförmigen Körpers, sondern zwei verschiedene Empfindungen von zwei konvexen Flächen. Dass diese beiden verschiedenen Konvexen einer Kugelform angehören, ist ein Urteil oder das Ergebnis einer unbewussten Schlussfolgerung, welche auf mancherlei Umständen vergangener und gegenwärtiger Erfahrung beruht, von denen wir in dem Augenblicke kein klares Bewusstsein haben.

ELFTE VORLESUNG.

Das Nervensystem und seine Thätigkeit.

1. Die Sinnesorgane sind, wie wir gesehen haben, die Kanäle, durch welche gewisse physikalische Vorgänge in den Stand gesetzt werden, die Empfindungsnerven zu erregen, mit denen jene Organe verbunden sind; und die Thätigkeit dieser Nerven kommt zur Erscheinung in der Thätigkeit des Centralorganes des Nervensystemes, die sich als ein Zustand des Bewusstseins — als Vorstellung — kund macht.

Wir haben auch gesehen, dass die Muskeln Werkzeuge sind, mittelst deren ein Bewegungsnerv, wenn er von dem Centralorgane, mit dem er zusammenhängt, erregt wird, Bewegung zu erzeugen vermag.

Die Empfindungsnerven, die Bewegungsnerven und das Centralorgan bilden den gröſseren Teil des Nervensystems. Dieses selbst, sowie seine Wirksamkeit, müssen wir jetzt als ein Ganzes etwas näher betrachten.

2. Der Nervenapparat besteht aus zwei Systemen von Nerven und Nervencentren, welche zwar innig miteinander verbunden sind, aber doch besser getrennt betrachtet werden. Es sind dies das Gehirn-Rückenmark-System und das sympathische Nervensystem. Das erste besteht aus dem Gehirn und dem mit ihm zusammenhängenden Rückenmark und den von diesen ausgehenden Nerven. Das andere umfasst die Kette der sympathischen Ganglien, die Nerven, welche diese abgeben, und die Nervenstränge, durch welche sie untereinander und mit den Hirnrückenmarksnerven verbunden sind.

Die Nerven sind Bündel von Nervenfasern, deren Bau in dem Hirnrückenmarksysteme und im sympathischen Systeme eine kleine Verschiedenheit erkennen lässt. (Näheres vgl. Vorl. XII, § 41.)

Die Nervencentren hingegen sind aus Nervenzellen und aus Nervenfasern zusammengesetzt (vgl. Vorl. XII, § 42 ff). Solche Nervenzellen finden sich in grofser Menge in verschiedenen Teilen des Gehirnes und Rückenmarkes, ferner in den Ganglien des Sympathicus, in den Ganglien der Rückenmarksnerven, endlich auch in einigen Sinnesorganen, in der Netzhaut des Auges und im inneren Ohre.

3. Das aus Gehirn und Rückenmark bestehende Nervencentrum oder, wie es auch wohl genannt wird, die Hirnrückenmarksaxe liegt in der Höhlung des Schädels und der Wirbelsäule, deren knöcherne Wände innen mit einer sehr festen faserigen Membran ausgekleidet sind, die für die betreffenden Knochen gleichzeitig als Periost oder Knochenhaut dient und die harte Hirnhaut (*dura mater*) genannt wird. Das Hirn und das Rückenmark selbst sind aufserdem von einem sehr gefäfsreichen faserigen Gewebe, der dünnen Hirnhaut (*pia mater*) dicht umhüllt. Die zahlreichen Blutgefäfse, welche diese Organe versehen, laufen eine Strecke in der dünnen Hirnhaut, und wo sie in die Masse des Gehirnes oder des Markes eintreten, werden sie mehr oder weniger tief von dem faserigen Gewebe der dünnen Hirnhaut begleitet.

Zwischen der dünnen Hirnhaut und der inneren Fläche der harten Hirnhaut liegt eine dritte, zarte Membran, welche Spinnwebehaut (*tunica arachnoidea*) heifst. Diese drei Häute hängen an verschiedenen Stellen miteinander zusammen; die Arachnoidea, welche nicht nur sehr zart, sondern auch weniger regelmäfsig als die beiden anderen ist, teilt den Raum zwischen der Dura und der Pia Mater in zwei Hohlräume, welche beide mit Flüssigkeit erfüllt und deren Wandungen nicht ganz vollständig von einem zarten Epithel bekleidet sind. Der Raum zwischen Dura Mater und Arachnoidea (der subdurale Raum) ist nirgends sehr weit; der zwischen Pia Mater und Arachnoidea (der subarachnoidale Raum) ist im Bereich des Gehirnes überall sehr eng, im Bereich des Rückenmarkes jedoch weit und enthält dort eine beträchtliche Menge von Flüssigkeit, die subarachnoidale Flüssigkeit oder auch Liquor cerebro-spinalis genannt.

4. Das Rückenmark (Fig. 82) ist eine Säule von grauweifser, weicher Substanz, welche von der Spitze des Wirbelkanales, wo

es mit dem Gehirne zusammenhängt, ungefähr bis zum zweiten Lendenwirbel reicht und dort in ein Bündel von Fasern ausläuft. Ein tiefer, ziemlich breiter Einschnitt, die vordere Spalte (*fissura anterior*, Fig. 83, 1), teilt es in der vorderen Mittellinie fast bis zur Mitte, eine noch tiefere, aber schmälere hintere Spalte (*fissura posterior*, Fig. 83, 2) senkt sich in der hinteren Mittellinie ebenso bis fast zur Mitte in das Rückenmark ein. Die dünne Hirnhaut dringt mehr oder weniger tief in jede dieser Spalten ein und trägt die Gefäfse, welche das Mark mit Blut versehen. Infolge dieser Spalten bleibt nur eine enge Brücke von Marksubstanz zur Verbindung beider Hälften übrig und diese Brücke wird in ihrer ganzen Länge von einer feinen Röhre, dem Centralkanale des Rückenmarkes, durchzogen (Fig. 83, 3).

Jede Hälfte des Markes wird der Länge nach in drei ungleiche Streifen, den Vorder-, Seiten- und Hinterstrang, geteilt durch die Anheftungsstellen zweier parallel laufender Reihen zarter Bündel von Nervenfasern, der Wurzeln der Rückenmarksnerven. Die Nervenwurzeln, welche in der näher zur hinteren Oberfläche des Markes gelegenen Linie entspringen, heifsen die hinteren Wurzeln; die in der anderen Linie entspringenden sind die vorderen Wurzeln. Eine gewisse Anzahl in gleicher Höhe auf jeder Seite des Markes entspringender vorderer und hinterer Wurzeln laufen zusammen und bilden vordere und hintere Bündel, und diese beiden Bündel, das vordere und das hintere, vereinigen sich dann in dem Stamm eines Rückenmarksnerven; aber vor dieser Vereinigung zeigt das hintere Bündel eine

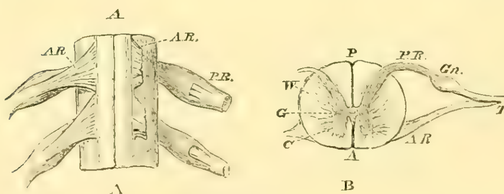


Fig. 82.

Das Rückenmark.

A. **Vorderansicht eines Stückes Rückenmark.** An der rechten Seite [in der Figur links] sind die vorderen Wurzeln (*AR*) erhalten; an der linken Seite sind sie abgeschnitten, um die hinteren Wurzeln (*PR*) zu zeigen.

B. **Querschnitt durch das Rückenmark.** *A* vordere Spalte; *P* hintere Spalte; *G* Centralkanal; *C* die graue Substanz; *W* die weifse Substanz; *AR* vordere Wurzel; *PR* hintere Wurzel; *Gn* Ganglion; *T* Stamm eines Rückenmarksnerven.

Anschwellung oder Verdickung, welche das Ganglion der hinteren Wurzel heifst.

Die Stämme der Rückenmarksnerven treten aus dem Wirbelkanale durch Öffnungen zwischen den Wirbeln, die Zwischenwirbellöcher; dann teilen sie sich wiederholt und ihre letzten Verzweigungen verbreiten sich schliefslich zum gröfsten Teil in den Muskeln und in der Haut.

Es giebt einunddreifsig Paare solcher Rückenmarksnerven und folglich zweimal so viel Wurzelbündel, welche in zwei Seitenlinien von jeder Hälfte des Markes entspringen.

5. Ein Querdurchschnitt des Markes (Fig. 82 B und 83) zeigt, dass jede Hälfte zweierlei Substanzen enthält, eine weifse Substanz an der Aufsenseite und eine graurote Substanz im Innern. Und diese graue Substanz, wie man sie nennt, ist so angeordnet, dass sie im Querschnitte jeder Hälfte fast wie ein Halbmond aussieht, bei dem ein Horn dicker als das andere ist und dessen hohle Seite nach aufsen liegt. Von diesen Hörnern heifst das nach vorn gerichtete das vordere Horn, das nach hinten ge-

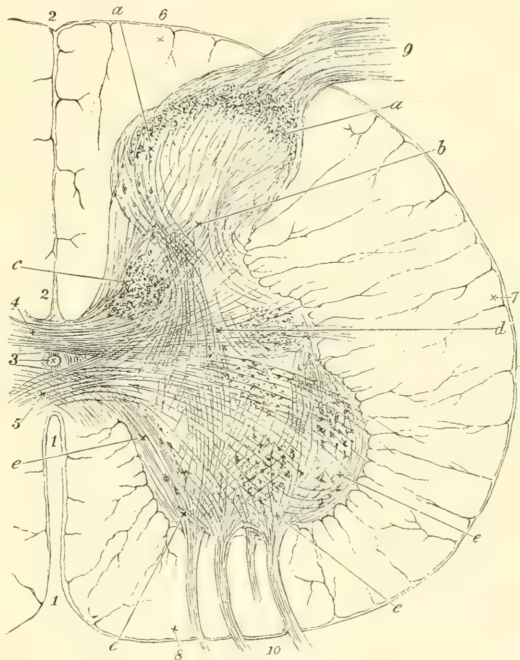


Fig. 83.

Querschnitt durch die eine Hälfte des Rückenmarkes (aus dem Lendenteile), vergröfsert. 1 vordere Spalte; 2 hintere Spalte; 3 Centralkanal; 4 und 5 hintere und vordere Verbindungszüge der beiden Rückenmarkshälften (hintere und vordere Kommissur); 6 weifser Hinterstrang; 7 weifser Seitenstrang; 8 weifser Vorderstrang; 9 hintere Wurzel; 10 vordere Wurzel. *aa* Graues Hinterhorn; *ee* graues Vorderhorn; in der weifsen Substanz bemerkt man die Fortsetzungen der Pia mater, welche das ganze Rückenmark einhüllt und in das Innere eindringt; mit ihr verlaufen die Blutgefäfse.

wendete das hintere Horn. Die gewölbten Seiten der Hörner der grauen Masse liegen einander nahe und sind durch Faserzüge verbunden, welche den Centralkanal umschliefsen.

Zwischen der grauen und der weifsen Substanz des Rückenmarkes besteht hinsichtlich des Baues ein durchgreifender Unterschied. Die weifse Substanz besteht ganz und gar aus Nervenfasern, eingeschlossen in ein zartes Netzwerk von Bindegewebsfasern und begleitet von Blutgefäfsen. Die meisten dieser Nervenfasern verlaufen der Länge nach, von unten nach oben, so dass man in einem Querschnitte nur die Durchschnitte derselben sieht. Die graue Substanz hingegen enthält neben Nervenfasern eine grofse Zahl von Nervenzellen, zum Teil von erheblicher Gröfse. In der weifsen Substanz finden sich gar keine Nervenzellen.

Eine grofse Zahl derjenigen Nervenfasern, aus denen die vorderen Wurzeln zusammengesetzt sind, lassen sich in das vordere Horn und bis zu den Nervenzellen, welche in diesem Horn liegen, verfolgen; die der hinteren Wurzeln treten in das hintere Horn ein, doch ist ihr weiteres Verhalten noch nicht genügend erforscht.

6. Die physiologischen Eigenschaften der eben beschriebenen Organe sind sehr merkwürdig.

Wenn der Stamm eines Rückenmarksnerven in irgend einer Weise durch Kneifen, Schneiden, durch einen elektrischen Strom oder durch Berührung mit einem heifsen Körper gereizt wird, so geschehen zwei Dinge; erstens ziehen sich alle die Muskeln zusammen, in welche Fasern dieses Nerven eindringen, zweitens wird ein heftiger Schmerz empfunden, und zwar wird dieser Schmerz in dem Teile der Haut gefühlt, in welchem Fasern jenes Nerven endigen. Mit anderen Worten, die Wirkung der Reizung eines Nervenstammes ist dieselbe, als wenn man die Fasern, aus denen er besteht, an ihren Endungen reizen würde. Und ganz dieselbe Wirkung hat die Reizung irgend eines Teiles des Nervenstammes, bis hinauf zu dem Punkte, wo sich das vordere und das hintere Bündel der Wurzelfasern vereinigen.

Die eben beschriebenen Wirkungen erfolgen auch, wenn man irgend einen Teil der Äste des Nerven reizt; indessen werden bei Reizung eines Nervenastes nur die Muskeln sich zusammenziehen und nur in den Teilen der Haut Schmerzen empfunden, in welche dieser Ast seine Fasern aussendet.

7. Wenn jedoch das vordere Bündel der Wurzelfasern auf dieselbe Weise gereizt wird, wird nur die eine Hälfte der eben beschriebenen Wirkungen zu stande kommen. Das heifst, alle Muskeln, in welchen der Nerv sich verteilt, ziehen sich zusammen, aber es wird kein Schmerz empfunden.

Und wiederum, wenn das hintere, mit einem Ganglion versehene Bündel gereizt wird, so kommt auch nur die halbe Wirkung einer Reizung des ganzen Stammes zu stande, aber die andere Hälfte jener Wirkung. Das heifst, keiner der Muskeln, in welchen der Nerv verteilt ist, zieht sich zusammen, aber ein starker Schmerz wird in dem ganzen Bereiche der Haut empfunden, in welchem Fasern dieses Nerven sich ausbreiten.

8. Es geht aus diesen Versuchen klar genug hervor, dass alles Vermögen, Muskel-Zusammenziehung zu verursachen, welches ein Rückenmarksnerv besitzt, in den Fasern seinen Sitz hat, welche seine vordere Wurzel ausmachen, und alles Vermögen, Empfindung hervorzubringen, in den Fasern der hinteren Wurzel. Daher auch die vorderen Wurzeln gewöhnlich Bewegungs- oder motorische, die hinteren Empfindungs- oder sensible Wurzeln genannt werden.

Diese Wahrheit kann auch noch in anderer Weise dargethan werden. Wenn man bei einem lebenden Tiere die vorderen Wurzeln eines Rückenmarksnerven durchschneidet, verliert das Tier alle Herrschaft über die Muskeln, in welchen dieser Nerv sich verzweigt, während die Empfindlichkeit der von dem Nerven versorgten Hautstellen vollkommen erhalten bleibt. Durchschneidet man die hinteren Wurzeln, so hört die Empfindung auf, aber die freiwillige Bewegung bleibt erhalten. Aber wenn man beide Wurzeln durchschneidet, so bleibt weder die Fähigkeit zu willkürlicher Bewegung, noch irgend eine Spur von Empfindung in dem von dem Nerven versorgten Teile des Körpers zurück. Die Muskeln sind dann gelähmt und die Haut kann geschnitten und gebrannt werden, ohne dass eine Empfindung erregt wird.

Wenn nach Durchschneidung beider Wurzeln das an dem Stamme des Nerven bleibende Ende der vorderen Wurzel gereizt wird, ziehen sich die Muskeln zusammen, während eine gleiche Behandlung des anderen Endes keine wahrnehmbare Wirkung hat. Wird andererseits das mit dem Stamme des Nerven verbunden gebliebene Ende der hinteren Wurzel gereizt, so zeigt

sich keine Wirkung, während bei Reizung des am Rückenmarke hängenden Endes unmittelbar heftiger Schmerz erfolgt.

Wenn auf die Reizung eines Nerven keine wahrnehmbare Wirkung erfolgt, ist es doch nicht wahrscheinlich, dass die Moleküle des Nerven unverändert bleiben. Im Gegenteile ist es wahrscheinlich, dass in allen Fällen dieselbe Veränderung eintritt; aber ein bewegender Nerv ist mit nichts verbunden, was diese Veränderung wahrnehmbar machen kann, außer mit Muskeln; und ein empfindender Nerv mit nichts, was eine Wirkung zeigen kann, als mit dem Centralnervensysteme.

9. Aus allen hier angeführten Versuchen geht hervor, dass bei der Reizung eines Nerven ein gewisses Etwas, wahrscheinlich (vgl. Vorl. V, § 32) eine Veränderung in der Anordnung seiner kleinsten Teilchen, durch die Nervenfasern fortgepflanzt wird. Wird ein motorischer oder ein sensibler Nerv in irgend einem Punkte gereizt, so erfolgt unmittelbar Zusammenziehung in dem entsprechenden Muskel oder eine Empfindung im Centralorgane. Ist der Nerv aber an irgend einem Punkte zwischen der gereizten Stelle und dem Muskel oder Centralorgane durchschnitten oder nur fest zusammengeschnürt, so hört die Wirkung sofort auf, gerade wie das Durchschneiden eines Telegraphendrahtes die Leitung des elektrischen Stromes aufhebt. Wenn ein Glied, wie man sagt, „eingeschlafen“ ist, so kommt das daher, dass die ihm angehörigen Nerven einem Drucke unterworfen sind, welcher stark genug ist, um den nervösen* Zusammenhang ihrer Fasern zu vernichten. Wir verlieren die Herrschaft des Willens über das Glied und die Empfindung in demselben, und diese Vermögen kehren nur allmählich wieder in dem Maße, als der nervöse Zusammenhang wieder hergestellt wird.

---

* Ihren „nervösen Zusammenhang“ sagen wir, weil ihr körperlicher (physikalischer) Zusammenhang als Ganzes nicht unterbrochen zu sein braucht, sondern nur der Zusammenhang derjenigen Substanz, welche als Leiter des nervösen Einflusses thätig ist; ja selbst wenn nur das Leitungsvermögen dieser Substanz gestört worden ist, so muss der gleiche Erfolg eintreten.

Man denke sich ein Telegraphenkabel von feinen, mit Quecksilber gefüllten Kautschukröhren — ein Kniff würde den „elektrischen Zusammenhang“ des Kabels unterbrechen, ohne seinen physikalischen Zusammenhang zu zerstören.

Dieser Vergleich mag nicht genau sein, aber er ist doch zum besseren Verständnisse des Nervenvorganges sehr geeignet.

Sind wir erst zu diesem Begriffe eines durch den ganzen Nerven laufenden Antriebes gelangt, so können wir uns leicht vorstellen, dass ein empfindender Nerv ein Nerv ist, welcher, wenn thätig, dem Centralorgane einen Antrieb zuführt, und dass ein bewegender Nerv ein Nerv ist, welcher von diesem Organe einen Antrieb wegführt. Deshalb nennt man auch die ersteren zuleitende und die letzteren ableitende Nerven. Es ist sehr zweckmäſsig, diese Benennung für die Bezeichnung der beiden groſsen Klassen von Nerven anzuwenden, denn wie wir sehen werden (§ 12), giebt es zuleitende Nerven, welche nicht eigentlich sensible sind, da sie nicht die Vorstellung einer Empfindung vermitteln, während es auch ableitende Nerven giebt, welche nicht motorisch sind, insofern ihre Reizung keine Muskelzusammenziehung hervorruft. Hierher gehören z. B. die Nerven, durch welche bei den elektrischen Fischen Entladungen von Elektrizität aus besonderen Organen, in welchen diese Nerven verteilt sind, veranlasst wird; sie sind ableitende Nerven, aber nicht motorische. Dasselbe gilt von denjenigen Nerven, durch welche die Absonderung in den Drüsen angeregt wird. In gleicher Weise können wir die Fasern der Lungenmagennerven, deren Reizung die Schläge des Herzens verlangsamt oder ganz unterbricht, nicht als motorische bezeichnen, obgleich die Wirkung vom Gehirne herkommt, wie es bei den motorischen Nerven der Fall ist.

10. Im Bau, in chemischer oder physikalischer Beschaffenheit giebt es keinen Unterschied zwischen zuleitenden und ableitenden Nerven. Aus dem, was wir von ihnen bisher gesagt haben, ergiebt sich von selbst, dass wir mit der Bezeichnung „zuleitende und ableitende“ Nerven nicht sagen wollen, dass ein Reiz, welcher einen solchen Nerven an irgend einer Stelle seines Verlaufes trifft, in den einen nur nach dem Centrum hin, in den anderen nur vom Centrum fortgeleitet werde. Im Gegenteile, man hat durch Versuche dargethan, dass dies nicht der Fall ist, dass die in einer Nervenfaser entstandene Erregung nach beiden Richtungen fortgepflanzt wird. Alles was wir sagen wollen, ist nur, dass eine Erregung, welche z. B. in einem zuleitenden Nerven einerseits nach der Haut hin, andererseits nach dem Nervencentrum fortgeleitet wird, nur am letzteren Orte an ein Organ gelangt, wo sie eine Wirkung auszuüben vermag, und dass umgekehrt die Erregung eines ableitenden Nerven nur an der

Peripherie, wo er mit einem Muskel, einer Drüse oder dgl. in Verbindung steht, auf diese Organe einzuwirken vermag.

Man hat auch nachgewiesen, dass die Erregung in den Nerven sich mit einer sehr geringen Geschwindigkeit (etwa 30 m in der Sekunde) fortpflanzt. Diese Geschwindigkeit ist geringer als die vieler anderer Bewegungen, sogar geringer als die des Schalles.

11. Bis hierher haben unsere Versuche sich auf die Nerven beschränkt. Wir wollen nun die Eigenschaften des Rückenmarkes in ähnlicher Weise prüfen. Schneidet man das Mark quer durch (sagen wir in der Mitte des Rückens), so werden die Beine und alle Teile, welche von unter dem Schnitte entspringenden Nerven versehen werden, unempfindlich sein, und keine Anstrengung des Willens kann sie in Bewegung setzen; während alle Teile über dem Schnitte ihre gewöhnlichen Fähigkeiten behalten.

Erleidet ein Mensch durch einen Unglücksfall eine schwere Verletzung seines Rückens, so wird nicht selten das Mark so beschädigt, dass die Leitung in ihm, gerade als wenn es durchschnitten wäre, unterbrochen ist; dann treten Lähmung und Unempfindlichkeit in dem unteren Teile des Körpers ein.

Wenn nach Durchschneidung des Markes bei einem Tiere das abgeschnittene Ende an dem unteren, vom Gehirne getrennten Teile gereizt wird, so treten heftige Bewegungen aller der Muskeln ein, welche von dem unteren Teile des Markes ihre Nerven empfangen, aber keine Empfindung kommt zu stande. Wenn man andererseits das obere, noch mit dem Gehirne zusammenhängende Stück des Rückenmarkes, oder besser einen der in diesen Teil des Rückenmarkes eintretenden Nerven reizt, so empfindet das Tier heftigen Schmerz, wie man aus seinen Bewegungen erkennt, aber keiner der Muskeln, deren Nerven aus dem unteren, vom Gehirne abgetrennten Teile des Rückenmarkes stammen, nimmt an diesen Bewegungen teil; sie bleiben in vollkommener Ruhe.

12. Man kann also sagen, dass in Beziehung zum Gehirne das Rückenmark sich wie ein großer gemischter, Bewegungs- und Empfindungsreize fortleitender Nerv verhält. Aber in anderer Beziehung leistet es doch noch weit mehr.

Denn, wenn der Stamm eines Rückenmarksnerven durchschnitten wird, so dass seine Verbindung mit dem Marke aufhört,

vermag eine Reizung der Haut, in welcher die empfindenden Fasern jenes Nerven verteilt sind, ebensowenig die Wirkung einer Bewegung als einer Empfindung hervorzubringen. Wenn aber das Rückenmark durchschnitten wird, so dass seine Verbindung mit dem Gehirne aufhört, und dann ein Reiz auf die Haut der Teile ausgeübt wird, zu welchen von dem unteren Rückenmarksabschnitt sensible Nerven gehen, so entsteht zwar keine Empfindung, wohl aber vermag jener Abschnitt eine heftige Bewegung der Körperteile hervorzubringen, welche von ihm mit bewegenden Nerven versehen werden.

Daher kommt es, dass bei einem Manne, dessen Beine, wie wir oben vorausgesetzt hatten, durch Verletzung des Rückenmarkes gelähmt und empfindungslos geworden sind, Kitzeln der Fuſssohlen ein krampfhaftes Zucken der Beine verursacht. Und es lässt sich im allgemeinen als Thatsache hinstellen, dass, solange beide Wurzeln der Rückenmarksnerven mit dem Marke verbunden bleiben, die Reizung irgend eines zuleitenden Nerven im stande ist, eine Erregung in einigen oder sämtlichen mit dem betreffenden Teile des Rückenmarkes in Verbindung stehenden ableitenden Nerven hervorzubringen.

Durchschneidet man das Mark ein zweites Mal in einiger Entfernung unterhalb des ersten Schnittes, so werden die ableitenden Nerven unter dem zweiten Schnitte nicht länger von einer Reizung der über dem Schnitte liegenden zuleitenden Nerven beeinflusst, sondern nur durch die unterhalb desselben liegenden. Oder in anderen Worten, damit ein zuleitender Reiz durch das Rückenmark in einen ableitenden verwandelt werde, muss der zuleitende Nerv mit dem ableitenden Nerven in ununterbrochener Verbindung vermittelst der unverletzten Masse der Rückenmarksubstanz stehen.

Dieses eigentümliche Vermögen des Rückenmarkes, zugeleitete in abgeleitete Erregungen zu verwandeln, ist dasjenige, wodurch es sich physiologisch als ein *Centralorgan* von einem gewöhnlichen Nerven unterscheidet. Man nennt diese übertragende Wirkung des Rückenmarkes *Reflexthätigkeit* und die dadurch hervorgebrachten Bewegungen *Reflexbewegungen*. Nur die graue Masse ist es, welche diese Fähigkeit besitzt, und nicht die weiſse Substanz des Rückenmarkes.

13. Die Zahl der durch Reflexthätigkeit des Rückenmarkes

erregten ableitenden Nerven ist durchaus nicht abhängig von der Zahl der zuleitenden, welche der die Reflexthätigkeit hervorrufenden Reizung unterworfen worden sind. Auch bringt eine einfache Erregung des zuleitenden Nerven keineswegs eine entsprechende Einfachheit in Anordnung und Folge der reflektierten Bewegungsantriebe mit sich. Kitzeln der Fuſssohle ist eine sehr einfache Erregung der zuleitenden Fasern ihrer Nerven; aber um die Muskelthätigkeit zu erzeugen, durch welche die Beine heraufgezogen werden, muss eine groſse Menge ableitender Fasern in geregelter Vereinigung wirksam sein. In der That macht in vielen Fällen die Reflexbewegung mehr den Eindruck einer durch den zugeleiteten Reiz ausgelösten, gleichsam aufgespeicherten Kraftleistung, als den einer bloſsen Übertragung des zugeleiteten Reizes in die ersten ihm offenstehenden ableitenden Kanäle.

Der wechselnde Charakter solcher Reflexbewegungen kann sehr gut am Frosche beobachtet werden; wenn man einen Frosch köpft oder besser noch, wenn man das Rückenmark nahe am Kopfe durchtrennt und zugleich das Gehirn durch Einführung eines stumpfen Drahtes in die Schädelhöhle zerstört, so ist das Tier jedes Bewusstseins und jeder Willensthätigkeit beraubt, während das Rückenmark ganz unversehrt erhalten ist. Die Operation selbst dauert nur einen kurzen Moment und verursacht kaum Schmerz. Unmittelbar nach derselben ist das Tier ganz schlaff und scheinbar tot; man sieht keine Bewegung irgend eines Körperteiles, nur das Herz schlägt fort. Aber dies ist nur die Folge der starken Erschütterung des Nervensystemes durch die Operation; der Zustand geht bald vorüber, und dann kann man die folgenden Thatsachen beobachten.

Solange als das Tier unberührt bleibt, solange kein äuſserer Reiz auf dasselbe einwirkt, tritt keinerlei Bewegung ein — die Willensthätigkeit ist vollkommen geschwunden.

Kneipt man leise eine Zehe, so wird das Bein sofort an den Körper herangezogen.

Kneipt man die Haut zwischen den Schenkeln in der Gegend des Afters, so werden beide Beine plötzlich nach oben gezogen und sodann mit groſser Kraft wieder ausgestreckt.

Streicht man sanft die Seitenwand des Bauches, so erfolgt nur eine einfache, zuckende Bewegung der unter der Haut liegenden Muskeln; ist die Berührung etwas weniger sanft, oder

kneipt man gar die Haut, dann werden die Zuckungen stärker, erstrecken sich über die ganze, gleichnamige Seite des Rumpfes, greifen auch wohl auf die andere Seite, sowie auf die Hinter- und zuweilen sogar die Vorderbeine über.

Berührt man die Zehen der Vorderbeine, so werden diese unter den Körper gezogen.

Bringt man einen Tropfen verdünnter Essigsäure auf die Spitze einer Zehe, so erfolgen sofort heftige und schnelle Bewegungen des Beines; der Fufs wird gegen den Schenkel gerieben, gleichsam zu dem Zweck, die Säure von der Zehe abzuwischen. Aber noch auffallender ist, dass, wenn man den Fufs festhält, häufig das andere Bein in Bewegung gerät und den Tropfen abwischt. Zuweilen, wenn der Säuretropfen zu grofs oder die Säure zu stark war, beginnen beide Beine zugleich sich zu bewegen, die Bewegungen breiten sich über den ganzen Körper aus, und das ganze Tier verfällt in Krämpfe.

Nun verlangen alle diese Bewegungen, selbst die schwächsten und einfachsten, ein gewisses Zusammenwirken verschiedener Muskeln, und einige von ihnen, wie die des Abwischens der Säure sind sogar in hohem Grade verwickelte Bewegungen. Zudem ist bei ihnen allen ein gewisser Endzweck oder eine Absicht erkennbar, sei es, den Körper oder Körperteil von dem Reize zu entfernen, oder den angreifenden Gegenstand von dem Körper wegzubringen; in den verwickelteren der beobachteten Bewegungen erscheint dieser Zweck ganz besonders deutlich ausgeprägt.

Es scheint also, dass in dem Rückenmarke des Frosches eine Reihe von Nervenmechanismen vorhanden ist, welche für eine Anzahl verschiedener Bewegungsformen bestimmt sind, und dass ein Reiz, der durch einen Empfindungsnerven zum Rückenmarke gelangt, bald den einen, bald den anderen dieser Mechanismen in Thätigkeit versetzt.

14. So ist das Rückenmark einerseits zwar ein blofser Vermittler der Leitung von Eindrücken nach und von dem Gehirne, andererseits aber auch ein selbständiges Nervencentrum mit der Fähigkeit, zusammengesetzte Bewegungen zu verursachen, sobald es von einem zuleitenden Nerven einen Antrieb erhält, oder vielleicht auch eine Gruppe solcher selbständiger Centren.

Die Leitung der Erregungen vom Gehirn durch das Rücken-

mark zu den einzelnen Muskeln und von den empfindlichen Hautteilen zum Gehirn, ist eine sehr verwickelte und durchaus noch nicht vollkommen erforschte.

Wenn wir einen Fuſs bewegen, so werden die Bewegungsimpulse, nachdem sie in gewissen Hirnteilen entstanden sind, durch die ganze Länge des Rückenmarkes abwärts geleitet bis zu der Stelle, wo die Wurzeln der zu den Fuſsmuskeln gehenden Nerven aus dem Rückenmark entspringen, treten hier in die vorderen Wurzelfasern über und gelangen so zu den Muskeln des Fuſses. Wenn die Fuſssohle berührt wird, so wird die hierdurch erzeugte Reizung durch die sensiblen Nerven bis zum Rückenmark fortgeleitet, tritt durch die hinteren Wurzeln in das Rückenmark ein und gelangt, in diesem aufwärts steigend, zum Gehirn. Auf welche Weise findet diese Leitung durch das Rückenmark hindurch statt?

Mancherlei Gründe sprechen dafür, dass sowohl die Leitung der motorischen Impulse als auch die der sensiblen Eindrücke zum Teil durch die weiſse Substanz des Rückenmarkes, in den Längsfasern derselben, insbesondere auch die der Seitenstränge (vgl. § 4 und Fig. 83) geleitet werden. Die zugeleiteten sensiblen Eindrücke müssen jedoch, ehe sie die Seitenstränge erreichen, zuvor, wie es scheint, eine Strecke weit in der grauen Substanz verlaufen, und etwas Ähnliches scheint für die vom Gehirn herkommenden Bewegungsimpulse zu gelten, welche aus den Seitensträngen ihren Weg erst in die graue Substanz und dann von dieser zu den vorderen Wurzeln nehmen. Wie wir in Vorl. XII sehen werden, hängen die Nervenfasern der vorderen Wurzeln in besonderer Weise mit den Nervenzellen der Vorderhörner unmittelbar zusammen. Dass die graue Substanz Erregungen beider Art, wenigstens auf kurze Strecken, fortzuleiten im stande ist, dafür lassen sich Beweise beibringen.

Aus mancherlei Erfahrungen geht hervor, dass die Leitungsbahnen im Rückenmark eine allmähliche Kreuzung erleiden, so dass ein halbseitiger Schnitt, welcher eine Hälfte des Rückenmarkes in der Rückengegend durchtrennt, auf die Bewegung wie auf die Empfindung in beiden Beinen einen Einfluss ausübt.

15. Wir haben nun die Verrichtungen des Rückenmarkes, als ein Ganzes genommen, kennen gelernt. Die aus dem Rückenmarke entspringenden Nerven verbreiten sich hauptsächlich in

den Muskeln und der Hautoberfläche, insbesondere in denen des Rumpfes und der Gliedmafsen. Aber auch die Nerven der Blutgefäfse, die sogenannten vasomotorischen Nerven (vgl. Vorl. II, § 23), entspringen aus dem Rückenmarke, mischen sich jedoch mit denen des sympathischen Nervensystems. In der ganzen Länge des Rückenmarkes geben nämlich die Rückenmarkswurzeln Fasern ab, welche zu dem Sympathicus hinziehen. Die vasomotorischen Fasern des Sympathicus sind nun ihrem Ursprung nach in Wahrheit Rückenmarksnerven, welche durch jene Verbindungsbahnen zum Sympathicus gelangen und mit diesem weiter verlaufen. Doch giebt es auch einzelne vasomotorische Fasern, welche ihren ganzen Verlauf in Rückenmarksnerven haben.

Durch Versuche ist erwiesen worden, dass die Nerveneinflüsse, welche auf der Bahn dieser vasomotorischen Nerven zu den Blutgefäfsen gelangen und den Grad ihrer Verengerung regeln, aus dem Rückenmark ihre Erregung erhalten. Man sagt deshalb, dass im Rückenmark Centra für die vasomotorischen Nerven oder kürzer vasomotorische Centra gelegen seien.

So werden z. B. die Muskelwände der das Ohr und die Kopfhaut im allgemeinen versorgenden Blutgefäfse, wie schon erwähnt, durch Nervenfasern zum Zusammenziehen gebracht, welche unmittelbar vom Sympathicus herkommen. Doch entspringen diese Fasern nicht in den sympathischen Ganglien, sondern durchschreiten diese nur auf ihrem Wege vom Rückenmarke, in dessen oberem Halsteile sie sich sämtlich nachweisen lassen. Wenigstens scheint es, dass wir diesen Schluss aus der Thatsache ziehen müssen, dass eine Reizung des Markes in jener Gegend dieselbe Wirkung hat, wie eine Reizung der Gefäfsnerven selbst, und dass Zerstörung dieses Teiles des Rückenmarkes dieselben lähmt.

Weitere Untersuchungen haben jedoch dargethan, dass auch im Rückenmark diese Nerven nicht ihren Ursprung haben, sondern dass sie vom Gehirn herkommen, von wo sie durch das Rückenmark hindurch zum Sympathicus hinziehen.

16. Das Gehirn (Fig. 84) ist ein verwickeltes Organ, das aus mehreren Teilen besteht; der hinterste heifst das verlängerte Mark und geht an seinem unteren Ende unmerklich in das Rückenmark, dem es dort auch im Baue gleicht, über.

Indessen nach oben hin verbreitert es sich, und der Central-

kanal, der sich mit ihm ausbreitet, wird zu einer grofsen Höhlung, die (abgesehen von gewissen anatomischen Einzelheiten) nach oben weit geöffnet erscheint. Diese Höhlung wird die vierte Hirnhöhle oder der vierte Ventrikel genannt. Über derselben ist eine grofse, geschichtete Masse gelagert, das kleine Gehirn (vgl. Cb, Fig. 84, 85, 86). Dieses Organ sendet auf jeder Seite mehrere Schichten querverlaufender Fasern aus, welche unter dem Gehirne quer fortziehen und in der Mittellinie seiner unteren Fläche zusammenstofsend eine Art Brücke (die Varolsbrücke genannt, vgl.

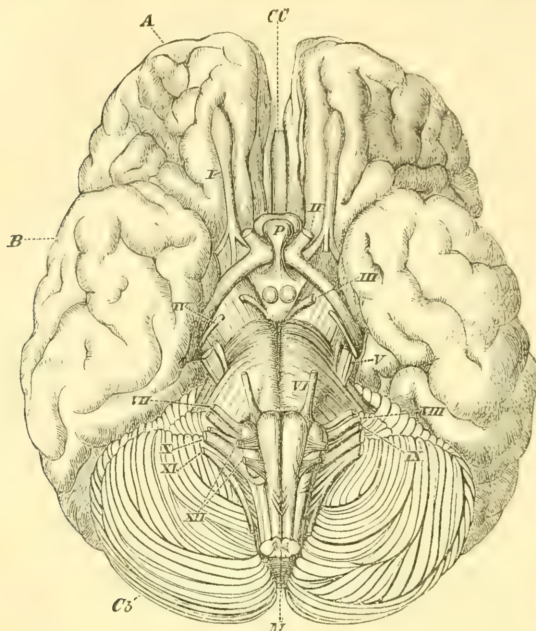


Fig. 84.

Die untere Fläche des Gehirnes. *A* Der Stirnlappen; *B* der Schläfenlappen der Grofshirnhemisphären; *CC* der Balken; *Cb* das kleine Gehirn; *M* das verlängerte Mark; *P* der Hirnanhang; *I* der Riechnerv; *II* der Sehnerv; *III*, *IV*, *VI* die Nerven der Augenmuskeln; *V* Trigeminus oder Gefühlsnerv des Gesichtes; *VII* der Facialis oder Bewegungsnerv des Gesichtes; *VIII* der Hörnerv; *IX* der Zungen-Schlundkopfnerv; *X* der Lungenmagennerv; *XI* der Accessorius oder Beinerv; *XII* der Zungenfleischnerv, welcher die Muskeln der Zunge versorgt. Die Nummer *VI* steht auf der Varolsbrücke; die breiten Bündel, welche man jederseits zwischen dem dritten und vierten Nerven sieht, sind die Hirnschenkel. Das verlängerte Mark (*M*) ist, wie man aus der Figur erkennen kann, eine unmittelbare Fortsetzung des Rückenmarkes. In der That ist der Schnitt etwas unterhalb des verlängerten Markes noch in der Substanz des Rückenmarkes geführt worden, und man erkennt auf der Schnittfläche die Hörner der grauen Substanz. Aus dem verlängerten Marke entspringen seitlich der zehnte, elfte und zwölfte Hirnnerv, und wo es von der Varolsbrücke bedeckt wird, der siebente und mehr nach der Mittellinie zu der sechste. Aus der Brücke selbst kommt der fünfte Hirnnerv heraus. Davor sieht man den scharf abgesetzten Rand der Brücke und vor demselben, zwischen dem dritten und

Fig. 84) an der Vorderseite des verlängerten Markes bilden. Die Längsfasern des verlängerten Markes laufen unter und zwischen jenen Schichten von Querfasern nach vorn und werden vor der Brücke als zwei breite auseinandergehende Bündel, welche die Hirnschenkel (*crura cerebri*) heifsen, sichtbar (vgl. Fig. 84). Über den Hirnschenkeln liegt eine Masse von Nervensubstanz, welche sich in vier halbkugelförmige Erhöhungen erhebt und welche den Namen der Vierhügel (*corpora quardrigemina*) trägt (CQ, Fig. 86). Zwischen diesen und den Hirnschenkeln führt ein schmaler Gang von der vierten Hirnhöhle in den sogenannten dritten Ventrikel oder die Mittelhirnhöhle. Die Mittelhirnhöhle ist ein enger Hohlraum, eingeschlossen von zwei grofsen Massen von Nervensubstanz, den Sehhügeln (*thalami optici*), in welche die Hirnschenkel übergehen. Das Dach der Mittelhirnhöhle ist eine einfache Haut, und ein eigentümlicher Körper, dessen Bedeutung unbekannt ist, die Zirbeldrüse, steht in Verbindung mit ihm. Der Boden der Mittelhirnhöhle läuft in eine Art Trichter aus, der in einem anderen unbekannten Organe, dem sogenannten Hirnanhange endigt (Pt, Fig. 86, P, Fig. 84).

Der dritte Ventrikel ist an der Vorderseite durch eine dünne Schicht von Nervensubstanz verschlossen, aber nach aufsen von dieser führt auf beiden Seiten durch die Grenzwand der Mittelhirnhöhle eine Öffnung in zwei grofse Hohlräume, welche die Mitte der Grofshirnhemisphären einnehmen und die Seitenhirnhöhlen oder Seitenventrikel heifsen. Jede Hirnhemisphäre breitet sich nach hinten, nach unten und nach vorn in ebensoviele Lappen aus, und die Seitenhirnhöhlen zeigen entsprechende Verlängerungen oder Hörner.

Den Boden der Seitenventrikel bildet eine Masse von Nervensubstanz, welche der Streifenhügel (*corpus striatum*) heifst und in welchen die aus dem Sehhügel kommenden Fasern eintreten (Fig. 86, CS).

---

vierten Hirnnerven, ziehen die Hirnschenkel nach vorn. Die beiden runden Körper in dem Winkel zwischen den Hirnschenkeln sind die sogenannten corpora candicantia, vor welchen der Hirnanhang gerade auf dem Chiasma oder der Kreuzung der beiden Sehnerven liegt, deren Ursprünge zu beiden Seiten um die Hirnschenkel herumziehen. Zwischen dem Stirn- und dem Schläfenlappen befindet sich die Grube des Sylvius.

Die Hemisphären sind so groſs, dass sie alle übrigen Teile des Gehirns überragen und bei der Ansicht von oben bedecken. Ihre aneinanderstoſsenden Flächen sind in dem gröſseren Teile ihrer Ausdehnung durch eine mittlere Spalte getrennt, aber nach unten sind sie durch eine dicke Masse von Querfasern, den sogenannten Balken (*corpus callosum*) verbunden (vgl. Fig. 84, CC).

Die äuſseren Oberflächen der Hemisphären sind durch Aufrollungen oder Windungen, zwischen denen zahlreiche tiefe Spalten oder Furchen liegen, in welche die dünne Hirnhaut eindringt, ausgezeichnet. Eine groſse und tiefe Spalte trennt den vorderen von dem mittleren Teile der Hemisphäre und heiſst die Sylvi'sche Grube (Fig. 84).

17. Im verlängerten Marke ist die Anordnung der weiſsen und der grauen Masse im wesentlichen dieselbe wie im Rückenmarke, d.h. die weiſse Masse ist die äuſsere, die graue die innere. Aber die graue Substanz, welche wie im Rückenmark Nervenzellen enthält, ist in gröſserer Masse vorhanden, und die Anordnung der weiſsen und der grauen Substanz ist eine viel verwickeltere.

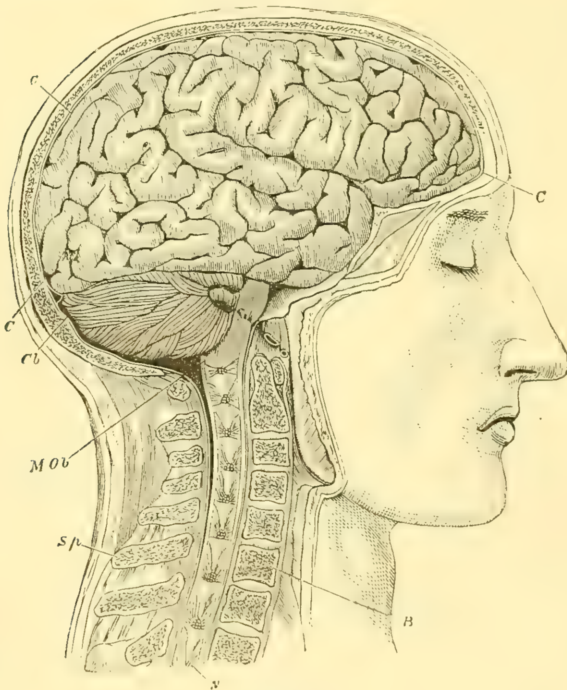


Fig. 85.

Seitenansicht des Gehirnes und des oberen Teiles des Rückenmarkes, nach Entfernung aller die Nervencentren bedeckenden Teile. *CC* die gewundene Oberfläche der rechten Groſshirnhemisphäre; *Cb* das Kleinhirn; *MOb* das verlängerte Mark; *B* die Wirbelkörper; *Sp* die Spitzenfortsätze der Wirbel; *X* das Rückenmark mit seinen Nerven.

In den Hirnteilen oberhalb des verlängerten Markes kommen einzelne Anhäufungen grauer Substanz, mit vielen Nervenzellen, an einzelnen Stellen vor, so z. B. in der Varolsbrücke, den Hirnschenkeln, den Vierhügeln, den Sehhügeln und den Streifenhügeln. Auch im Kleinhirn findet sich auf jeder Seite eine eigentümlich gestaltete Ablagerung grauer Substanz. Aber besonders charakteristisch für das eigentliche Gehirn ist das Vorhandensein grauer Substanz von besonderer Natur, welche auch eigenartig gestaltete Nervenzellen enthält, an der Oberfläche der Hemisphäre des Grofshirns sowohl wie des Kleinhirns. Diese oberflächliche Lage, die graue Hirnrinde, bekleidet die ganze Oberfläche dieser Organe, senkt sich mit ihr in die Furchen ein und überzieht ebenso die Windungen oder Wülste.

Die weifse Substanz des Gehirns besteht aus Faserzügen, welche in sehr verwickelter Anordnung die einzelnen Anhäufungen grauer Substanz untereinander und mit dem Rückenmark verbindet.

18. Die Nerven gehen vom Gehirne paarweise aus; in der Anzahl von zwölfen auf jeder Seite folgen sie aufeinander, von vorn nach hinten gerechnet, folgendermafsen (vgl. Fig. 84 und 86):

Das erste Paar sind die Riechnerven und das zweite die Sehnerven. Die Verrichtungen beider sind schon beschrieben worden.

Der dritte Hirnnerv ist der Augenbewegungsnerv (*N. oculomotorius*), weil er alle Augenmuskeln, bis auf zwei, mit Bewegungsfasern versorgt.

Der vierte und der sechste Hirnnerv versehen je einen Augenmuskel auf jeder Seite; der

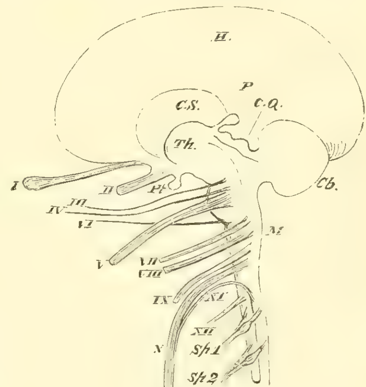


Fig. 86.

Schematische Darstellung der einzelnen Hirnteile in ihrer gegenseitigen Lagerung und des Ursprunges der Hirnnerven. *H* die Grofshirnhemisphären; *CS* die Streifenhügel; *Th* der Sehhügel; *P* die Zirbeldrüse; *Pt* der Hirnanhang; *CQ* die Vierhügel; *Cb* das Kleinhirn; *M* das verlängerte Mark; *I—XII* die zwölf Hirnnervenpaare; *Sp.* 1, *Sp.* 2 die beiden obersten Rückenmarknervenpaare.

vierte (*N. trochlearis*) den oberen schrägen, und der sechste (*N. abducens*) den äufseren geraden Muskel. Die Augenmuskeln, so klein und dichtgedrängt sie sind, erhalten also doch ihre Nervenreize von drei verschiedenen Nerven.

Der fünfte Hirnnerv (*N. quintus*) ist sehr dick. Er entspringt mit zwei Wurzeln, einer motorischen und einer sensiblen, und gleicht auch darin einem Rückenmarksnerven, dass seine sensible Wurzel ein Ganglion bildet. Dieser Nerv versieht die Gesichtshaut mit empfindenden Fasern und die Kaumuskeln mit Bewegungsfasern. Da er sich in drei Äste teilt, heifst er auch der dreigeteilte Nerv (*N. trigeminus*). Ein Zweig seines dritten Astes gelangt zur Zungenspitze und versorgt diese mit Gefühls- und (vielleicht) auch mit Geschmacksnerven.

Der siebente Hirnnerv versieht die Gesichtsmuskeln und einige andere Muskeln mit bewegenden Nerven und heifst daher Gesichtsnerv (*N. facialis*).

Der achte Hirnnerv ist der Hörnerv. Da der siebente und der achte Nerv die Schädelhöhle zusammen verlassen, werden sie oft, und besonders von englischen Anatomen, als ein Nerv mit zwei Wurzeln gerechnet und als der harte Teil (Gesichtsnerv) und der weiche Teil (Hörnerv) des „siebenten" Hirnnerven unterschieden.

Der neunte Hirnnerv nach unserer Zählung, der Zungenschlundkopfnerv (*N. glossopharyngeus*) ist ein gemischter Nerv, indem er teils Geschmacksnerven für den Zungenrücken und den weichen Gaumen, teils bewegende Nerven für die Schlundkopfmuskeln enthält.

Der zehnte Hirnnerv wird der herumschweifende oder Lungenmagennerv (*N. vagus* oder *pneumogastricus*) genannt. Dieser sehr wichtige Nerv, sowie der nächste sind die einzigen Gehirnnerven, welche in vom Kopfe entfernten Körperstellen sich ausbreiten. Die herumschweifenden Nerven versehen den Kehlkopf, die Lungen, die Leber, den Magen und Darm, und Zweige von ihm stehen mit dem Herzen in Verbindung.

Der elfte Hirnnerv, der Rückenmarks-Beinerv (*N. accessorius*) genannt, unterscheidet sich wiederum beträchtlich von allen übrigen, indem er zum Teil aus den Seiten des Rückenmarkes, zwischen den vorderen und hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven entspringt. Diese Fasern sammeln sich zu

einem Stämmchen, welches nach oben zum verlängerten Marke hinaufgeht, auch aus diesem Fasern aufnimmt, und der so gebildete Nerv verlässt den Schädel durch dieselbe Öffnung wie der herumschweifende und der Zungenschlundkopfnerv. Die Beinerven enthalten Bewegungsnerven für gewisse Muskeln des Nackens, des Kehlkopfes u. a. Doch ist es nicht gerechtfertigt, sie (wie manche Physiologen noch annehmen) gleichsam für die motorische Wurzel des N. vagus zu halten und diesem nur sensible Fasern zuzuschreiben. Da auf jeder Seite die Zungenschlundkopf-, die herumschweifenden und die Beinerven zusammen den Schädel verlassen, werden sie von englischen Anatomen meist zu einem Paare zusammengefasst und dann als „achtes“ gezählt.

Der letzte Hirnnerv wird nach dieser Zählweise zum „neunten“; aber in Wirklichkeit ist er der zwölfte; er heiſst Zungenfleischnerv (*N. hypoglossus*) und ist der motorische Nerv für die Zungenmuskeln.

19. Von diesen Nerven verdienen die beiden vordersten Paare nicht eigentlich diesen Namen, sondern sie sind vielmehr Fortsätze des Gehirnes. Die Riechnerven sind Verlängerungen der Hirnhemisphären, die Sehnerven Verlängerungen der Wände der Mittelhirnhöhle; und es ist bemerkenswert, dass es nur diese beiden Paare, sozusagen falscher Nerven sind, welche in einem anderen Teile des Gehirnes, als im verlängerten Marke, entspringen. Während alle anderen wahren Hirnnerven unmittelbar oder mittelbar bis in diesen Teil des Gehirnes sich zurückverfolgen lassen, ist dies bei den Riech- und den Sehnerven nicht möglich.

20. Dieser Umstand allein schon lässt erwarten, dass das verlängerte Mark ein äuſserst wichtiger Teil des Nervencentrums ist; und in der That zieht eine Verletzung desselben üble Folgen von der ernstesten Art nach sich.

Ein bloſser Stich an einer gewissen Stelle des Bodens der vierten Hirnhöhle bringt sofort eine solche Vermehrung der Zuckermenge im Blute hervor, dass ein Teil des Zuckers unzersetzt durch die Nieren abgesondert wird. Und so verursacht diese geringe Verletzung des verlängerten Markes eine Störung, welche mit der unter dem Namen Zuckerharnruhr (Diabetes) bekannten schweren Erkrankung eine gewisse Ähnlichkeit hat.

Eine etwas ausgedehntere Verletzung hemmt die Atmungsvorgänge, indem das verlängerte Mark das Nervencentrum enthält, welches die Zusammenziehungen der Atmungsmuskeln bewirkt und die Atmungspumpe in Thätigkeit erhält (s. Vorl. IV, § 24).

Reizung des verlängerten Markes in der Gegend der Vagusursprünge kann das Herz für einige Zeit vollkommen zum Stillstand bringen (s. Vorl. II, § 27).

Wie wir schon gesehen haben (§ 15), enthält die Medulla oblongata auch ein wichtiges Centrum für die vasomotorischen Nerven. Ferner ist in ihr das Centrum für viele wichtige, zum Teil auf reflektorischem Wege zu stande kommende Bewegungen: den Schlingakt, das Niesen, den Husten, die Speichelabsonderung u. a. Und wenn wir bedenken, dass jede Nervenerregung, welche von höheren Teilen des Gehirnes zu irgend einem Nerven des Körpers oder von einem solchen Nerven zum Gehirn geleitet wird, mit alleiniger Ausnahme des Seh- und Riechnerven (und vielleicht auch des Oculomotorius und Trochlearis), ihren Weg durch die Medulla oblongata nehmen muss, so leuchtet die hervorragende Wichtigkeit dieses Hirnteiles für die Lebensvorgänge ein.

21. Es ist eine sehr bemerkenswerte Thatsache, dass bei Erkrankungen oder Verletzungen des Gehirnes auf einer Seite die Wirkungen derselben an der entgegengesetzten Körperhälfte auftreten. Wenn z. B., was nicht gar selten der Fall ist, ein Blutgefäfs, sagen wir in der rechten Hirnhemisphäre platzt und dort zu einer Zerstörung der Hirnsubstanz Veranlassung giebt, so kommt es zu einer Lähmung auf der linken Körperseite, d. h. der Wille ist nicht mehr im stande, auf die Muskeln dieser Seite einzuwirken, oder Reizungen der Haut dieser Seite können nicht mehr bewusste Empfindungen hervorrufen. Man sagt deshalb, dass zwischen dem Gehirn und den peripherischen Organen eine vollständige Kreuzung aller zuführenden und abführenden (willkürlichen) Leitungsbahnen stattfinde. Wie wir schon gesehen haben (§ 14), geht eine solche Kreuzung zu einem Teil schon innerhalb des Rückenmarkes vor sich. Doch findet die hauptsächliche Kreuzung erst in der Medulla oblongata in der sogenannten vorderen Pyramidenkreuzung (vgl. Fig. 84) statt. Hier gehen starke Bündel von Nervenfasern, welche vorzugsweise aus den Seitensträngen des Rückenmarkes stammen (welche ja, wie wir § 14 gesehen haben, die Hauptleitungsbahnen sowohl für sensible

Eindrücke, wie für motorische Impulse zu enthalten scheinen), nach der Vorderseite der Medulla oblongata und treten an dieser, sich kreuzend, nach der entgegengesetzten Körperseite über.

Aber auch für Nerven, welche oberhalb der Pyramidenkreuzung aus der Medulla oblongata entspringen, geht die Leitung nach der entgegengesetzten Seite über. In dem angeführten Beispiel einer Blutgefäſsberstung in der rechten Hirnhemisphäre ist nicht nur am Rumpf und den Gliedmaſsen, sondern auch im Gesicht die Lähmung linkerseits, d. h. also Erregungen können nicht vom Gehirn zum linken N. facialis gelangen, und ebenso ist die Leitung vom linken Trigeminus zum Gehirn unterbrochen. Also geht auch von diesen Nerven die Leitung gekreuzt zur entgegengesetzten Hirnhälfte.

Es kommt aber auch vor, dass die Erkrankung oder Verletzung an einer beschränkten Stelle der Medulla oblongata selbst auf einer Seite ihren Sitz hat oberhalb der Pyramidenkreuzung. Dann kann es kommen, dass die Leitungsbahnen des N. facialis und des N. trigeminus in ihrem Verlauf betroffen werden, ehe ihre Kreuzung stattfand. In solchen Fällen beobachtet man dann Lähmung der linken Seite des Rumpfes, aber der rechten Seite des Gesichtes oder umgekehrt.

22. Die Verrichtungen der meisten Teile des Gehirnes, welche vor dem verlängerten Marke liegen, sind bis jetzt nur ungenügend erkannt; aber es steht fest, dass ausgedehnte Verletzung oder Entfernung der Hirnhemisphären dem Verstande und der Willenskraft ein Ende macht und das Tier in dem Zustande einer Maschine zurücklässt, welche nur durch die Reflexthätigkeit des übrigen Nervensystems noch in Thätigkeit gerät.

Wir haben gesehen, dass beim Frosche die Bewegungen des Körpers, welche das Rückenmark allein nach Entfernung des ganzen Gehirnes einschlieſslich des verlängerten Markes hervorzurufen vermag, äuſserst verwickelt und mannigfaltig sein können. Aber alle diese Bewegungen entstehen sozusagen nicht im Organismus selbst, sie sind nicht willkürlich oder spontan, sie erfolgen nur, wenn das Tier gereizt wird. Entfernung der Gehirnhemisphären allein genügt auch schon, um alle spontanen oder willkürlichen Bewegungen des Tieres aufzuheben; aber die Erhaltung des verlängerten Markes und des Mittelhirnes macht das Tier doch zu viel vollkommeneren Bewegungen befähigt, als

es bei vollständiger Entfernung des ganzen Gehirnes auszuführen vermag. Im letzteren Falle atmet das Tier nicht, liegt flach auf dem Tische, die Vorderbeine liegen neben dem Rumpfe in einer bei unversehrten Tieren niemals vorkommenden Stellung; wird es gereizt, so macht es Bewegungen mit den Beinen oder gerät in Krämpfe, aber es hüpft nicht fort; wird es ins Wasser gesetzt, so fällt es zu Boden wie ein Klumpen Blei, und wenn man es auf den Rücken legt, bleibt es so liegen, ohne einen Versuch zu machen, sich umzudrehen. Im ersteren Falle aber sitzt das Tier, sich auf seine Vorderbeine stützend, in natürlicher Haltung; es atmet ganz wie sonst; wenn es gereizt wird, springt es fort und macht dabei oft ganz erhebliche Sprünge; ins Wasser gesetzt, schwimmt es so lange, bis es einen Gegenstand findet, auf dem es bleiben kann; auf den Rücken gelegt, dreht es sich sofort um und setzt sich wieder in seine normale Haltung. Setzt man es auf ein Brett, so bleibt es still sitzen, solange das Brett horizontal steht; dreht man aber langsam das Brett so, dass der Kopf des Tieres höher zu stehen kommt, so wird das Tier, sobald es anfängt, nach rückwärts zu gleiten, langsam auf dem Brette in die Höhe kriechen und zuletzt, wenn das Brett weiter gedreht wird, bis an den Rand desselben kriechen und sich auf diesem festsetzen. So sehr nun auch diese Bewegungen wohlgeordnet sind und sich in nichts von denen unterscheiden, welche auch ein Frosch, der noch sein ganzes Hirn hat, ausführen würde — in einem Punkte unterscheidet sich unser Tier ganz bestimmt von einem unversehrten: es bewegt sich niemals willkürlich und macht keine Bewegung, wenn es nicht gereizt wird.

Wir können also sagen, dass die Hirnteile unterhalb der Grofshirnhemisphären einen verwickelten Nervenmechanismus darstellen, in welchem die Antriebe zu zusammengesetzten, geordneten Bewegungen zu stande kommen, bei welchen zugeleitete sensible Eindrücke eine wichtige Rolle spielen, die jedoch nicht zu bewussten Vorstellungen führen.

23. Dahingegen kann es keinem Zweifel unterliegen, dass die Grofshirnhemisphären der Sitz von solchen Vorgängen sind, welche wir unter der Bezeichnung Intelligenz und Wille zusammenfassen. Versuche an Tieren haben auch gezeigt, dass Beziehungen bestehen zwischen einzelnen Teilen der Grofshirnoberfläche und gewissen Thätigkeiten. Reizung bestimmter

Stellen am vorderen Teile des Hundegehirns erzeugt Bewegungen in diesem oder jenem Glied, in dieser oder jener Muskelgruppe, je nach der gereizten Stelle. Zerstörung einer bestimmten Stelle der Hirnrinde des Hinterhauptlappens bewirkt Blindheit. Wie das zusammenhängt, darüber wissen wir noch sehr wenig. Und auch die Erkenntnis, dass eine bestimmte Stelle der Hirnrinde die Sehsphäre, das centrale Endorgan des Gesichtsinnes, enthalte (vgl. Vorl. VIII, § 28), und eine andere, die Hörsphäre, das centrale Endorgan des Gehörsinnes, lehrt uns natürlich nichts darüber, was im Gehirn vorgeht, wenn wir denken oder wenn wir wollen.

Unzweifelhaft ist irgend eine molekulare Veränderung in der Hirnsubstanz eine notwendige Vorbedingung für jeden Vorgang des Bewusstseins. Fortschritte der Wissenschaft können auch dazu führen, für jeden Teil des Gehirnes seinen Anteil an den einzelnen psychischen Akten festzustellen. Aber selbst wenn wir dahin gelangt sein würden, zu beweisen, dass Reizung eines bestimmten Teiles der Hirnsubstanz einen bestimmten Zustand des Bewusstseins zur Folge hat, so wäre doch die Erkenntnis des Zusammenhanges zwischen den molekularen Veränderungen in jenem Hirnteil und dem psychischen Vorgang nicht gewonnen. Diese Erkenntnis ist mit den uns zu Gebote stehenden Mitteln nicht zu erlangen, sie liegt sogar jenseits unseres Erkenntnisvermögens.

24. Auch während die Hirnhemisphären vollständig unversehrt und im ungestörten Besitze ihrer Kräfte sind, bewirkt das Gehirn Thätigkeiten, welche vollkommen der Reflexthätigkeit des Rückenmarkes gleichen.

Wenn die Augenlider bei einem Lichtblitze oder vor einem angedrohten Schlage blinzeln, findet eine Reflexthätigkeit statt, bei welcher die zuleitenden Nerven die Sehnerven, die ableitenden die Gesichtsnerven sind. Wenn ein schlechter Geruch eine Gesichtsverzerrung verursacht, so ist das eine Reflexthätigkeit vermittelst derselben bewegenden Nerven, während die Riechnerven die zuleitenden Bahnen bilden. In diesen Fällen muss die Reflexthätigkeit durch das Gehirn bewirkt werden, da alle beteiligten Nerven Gehirnnerven sind.

Wenn der ganze Körper bei einem starken Geräusche plötzlich zusammenfährt, verursacht der zuleitende Hörnerv den Reiz,

welcher auf das verlängerte Mark übergeht und von da aus die große Mehrzahl der bewegenden Nerven des Körpers erregt.

25. Man kann einwenden, dass dieses bloß mechanische Thätigkeiten sind und nichts mit den Verrichtungen zu thun haben, welche wir mit dem Verstande in Beziehung bringen. Aber man betrachte nur, was bei einer solchen Handlung, wie lautes Lesen, vorgeht. In diesem Falle muss oder sollte die ganze Aufmerksamkeit des Verstandes auf den Gegenstand des Buches gerichtet sein, während doch eine Menge feiner Muskelbewegungen vor sich geht, deren sich der Leser nicht im geringsten bewusst ist. So wird das Buch in der Hand gehalten, in der richtigen Entfernung vom Auge; die Augen werden hin und her über die Zeilen und an den Seiten auf und nieder bewegt. Ferner gehören zur Hervorbringung der Sprache die auf das genaueste angepassten und äußerst schnellen Bewegungen der Muskeln der Lippen, der Zunge und der Kehle, sowie der Kehlkopf- und Atmungsmuskeln. Vielleicht steht auch der Leser und begleitet das Lesen mit entsprechenden Gebärden. Und dennoch kann eine jede dieser Muskelthätigkeiten ausgeführt werden, ohne dass ihm das Geringste davon, außer dem Sinne der Worte im Buche, zum Bewusstsein kommt. Mit anderen Worten, sie unterscheiden sich nicht von Reflexthätigkeiten.

26. Die dem Rückenmarke eigenen Reflexthätigkeiten sind natürliche und durch den Bau des Rückenmarkes und die Eigenschaften seiner Bestandteile bedingt. Mit Hilfe des Gehirnes können wir eine Unzahl künstlicher Reflexthätigkeiten erlangen. Das heißt, eine Thätigkeit mag unsere ganze Aufmerksamkeit und Willenskraft erfordern bei ihrer ersten oder zweiten oder dritten Ausübung, aber bei häufiger Wiederholung wird sie gewissermaßen Teil unserer Organisation und wird dann ohne Inanspruchnahme der Willenskraft und selbst ohne Bewusstsein ausgeführt.

Wie jedermann weiß, braucht ein Soldat lange Zeit, um sein Exercitium zu lernen — z. B. dass er sich in die richtige Stellung bringt, im Augenblicke sowie der Befehl „Achtung!“ gehört wird. Aber nach einiger Zeit folgt die That auf das Wort, ob der Soldat daran denkt oder nicht. Es giebt eine Geschichte, die glaublich genug ist, obgleich sie nicht wahr sein mag: Ein Spaßmacher, der einen entlassenen alten Soldaten sein

Mittagbrot nach Hause tragen sieht, ruft plötzlich „Achtung!", worauf der Mann sofort seine Hände nach unten streckt und Fleisch und Kartoffeln in der Gosse verschwinden. Das Exercitium war gründlich gewesen, und seine Wirkungen hatten sich in den Eigenschaften der Nerven verkörpert.

Die Möglichkeit jeglicher Erziehung und Ausbildung (militärisches Drillen ist nur eine besondere Form einer solchen) beruht in dem Vorhandensein dieses Vermögens des Nervensystems, bewusste Thätigkeiten in mehr oder weniger unbewusste oder Reflexverrichtungen umzugestalten. Es kann als eine Regel aufgestellt werden, dass, wenn zwei geistige Zustände häufig und lebhaft zusammen oder hintereinander hervorgerufen werden, später die Hervorbringung des einen genügt, um den anderen hervorzurufen, und zwar geschieht dies, ob wir es wünschen oder nicht.

Die Aufgabe der Erziehung des Verstandes ist es, solche unauflösliche Verbindungen unserer Vorstellungen von den Dingen zu schaffen in derselben Ordnung und Verbindung, in welcher sie in der Natur vorkommen; die Aufgabe der moralischen Erziehung ist es, ebenso fest die Vorstellungen böser Thaten mit denen des Schmerzes und der Erniedrigung, und die guter Thaten mit denen der Freude und Veredelung zu vereinen.

27. Das sympathische Nervensystem besteht hauptsächlich aus einer doppelten Kette von Ganglien, die zu beiden Seiten vor der Wirbelsäule liegen und untereinander und mit den Rückenmarksnerven durch Verbindungsstränge verbunden sind. Von diesen Ganglien gehen Nerven aus, welche zum gröfsten Teile der Verteilung der Gefäfse folgen, aber in der Brust und der Bauchhöhle grofse Netzwerke oder Geflechte über dem Herzen und um den Magen bilden. Ein grofser Teil der Fasern des sympathischen Nervensystems kommt von dem Rückenmarke her; aber ein Teil entspringt auch aller Wahrscheinlichkeit nach in den Ganglien des sympathischen Systems selbst.

Die sympathischen Nerven beeinflussen die Muskeln der Gefäfse im allgemeinen und die des Herzens, des Darmkanales und einiger anderer Eingeweide. Dieser Einfluss ist zuweilen gerade entgegengesetzt demjenigen, welchen die vom Hirn und Rückenmark zu denselben Organen gelangenden Nerven ausüben. So

vermindert Reizung der Vagusfasern die Zahl der Herzschläge, während Reizung der Sympathikusfasern sie vermehrt.

Die Mehrzahl der Sympathikusfasern stammt jedoch, wie schon bemerkt wurde, aus dem Cerebrospinalsystem und erhält von diesem seine Erregungen. Wie weit die Nervenzellen der sympathischen Ganglien selbständige Wirkungen, sei es als Reflexcentra oder in anderer Weise ausüben, das ist noch gänzlich unbekannt.

ZWÖLFTE VORLESUNG.

Histiologie oder die Lehre von dem feineren Bau der Gewebe.

1. Im ersten Kapitel (§ 11) hatten wir auf die offenbare Thatsache aufmerksam gemacht, dass die Substanz, aus welcher der Körper des Menschen oder anderer höherer Tiere zusammengesetzt ist, nicht durchweg den gleichen Bau aufweist, sondern dass man im Gegenteil verschiedene Bestandteile unterscheiden kann, die sehr stark voneinander abweichen, nicht nur in ihrem allgemeinen Aussehen, in der Farbe, in der Härte oder Weichheit, sondern auch in ihrer chemischen Zusammensetzung und in den Eigentümlichkeiten, die sie im lebenden Zustande aufweisen.

Wenn man ein Glied seziert, so kann man ohne Schwierigkeit die Knochen, die Knorpel, die Muskeln, die Nerven u. s. w. voneinander unterscheiden, und es ist ersichtlich, dass die übrigen Glieder, der Rumpf und der Kopf, in der Hauptsache aus ähnlichen Gebilden wie jenes bestehen. Daher nannte man, als vor mehr denn zweitausend Jahren die Grundlagen der anatomischen Wissenschaft gelegt wurden, diese „gleichartigen" Bestandteile, die in den verschiedenen Teilen des Organismus vorkommen, Homoiomera, „ähnliche Teile". In neuerer Zeit werden sie „Gewebe" genannt, und derjenige Zweig der Biologie, der sich die Untersuchung dieser Gewebe zur Aufgabe macht, heifst Histiologie oder Gewebelehre.

Die Histiologie ist ein sehr grofses und schwieriges Gebiet, und wir könnten dies ganze Buch anfüllen, wollten wir selbst nur die Elemente dieser Wissenschaft in Betrachtung ziehen. Aber die Physiologie ist, genau genommen, die Erforschung der Lebenseigenschaften jener histiologischen Einheiten, aus welchen sich der Körper zusammensetzt. Und selbst die Elemente der

Physiologie können nicht vollständig verstanden werden ohne eine klare Vorstellung von der Natur und den Eigenschaften der wichtigsten Gewebe.

2. Ein grosser Teil der Gewebelehre kann ohne andere Hilfsmittel als derjenigen der gewöhnlichen anatomischen Methoden erlernt werden, und es ist sehr wünschenswert, dass der Lernende diese Kenntnis als Vorbereitung zu weiterer Untersuchung erwirbt. Aber der gröſste Teil der modernen Histiologie ist das Ergebnis der Anwendung des Mikroskopes zur Aufklärung des feineren Baues der Gewebe; und das bemerkenswerte Ergebnis dieser Untersuchung war der Nachweis, dass jene Gewebe selbst aus äuſserst kleinen „Homoiomera", oder gleichen Teilen, aufgebaut sind, die ursprünglich, gleichartig in der Form, in sämtlichen Geweben vorhanden sind.

3. Jedes Gewebe ist daher ein zusammengesetzter Bau: eine Vielheit histiologischer Einheiten oder eine Anhäufung histiologischer Elemente, und die Eigenschaften der Gewebe sind die Summe der Eigenschaften ihrer Bestandteile.

Die wesentlichen Merkmale, durch welche sich jedes vollkommen ausgebildete Gewebe von anderen Geweben unterscheidet, hängt von dem Bau, der Art der Vereinigung und den Lebenseigenschaften seiner völlig ausgebildeten histiologischen Elemente ab. Aber jedes Gewebe kann man zu einem jungen oder embryonischen Zustand zurückverfolgen, in welchem es keine charakteristischen Merkmale aufweist und in welchem seine histiologischen Elemente im Bau, in der Art der Verbindung und in den Lebenseigenschaften so vollkommen ähnlich denjenigen aller anderen embryonischen Gewebe sind, dass unsere gegenwärtigen Untersuchungsmittel nicht im stande waren, irgend einen Unterschied zwischen ihnen zu entdecken.

4. Diese embryonischen, nicht differenzierten, histiologischen Elemente, aus welchem jedes Gewebe ursprünglich zusammengesetzt ist, oder welche, wie wir besser sagen, im embryonischen Zustand die Stelle der Gewebe einnehmen, bezeichnen wir technisch als kernhaltige Zellen. Das weisse Blutkörperchen (Vorl. III, § 6) ist ein typisches Beispiel für eine solche Zelle. Und es ist vollkommen richtig, wenn man sagt, dass erstens die histiologischen Elemente jedes Gewebes Veränderungen der Produkte solcher Zellen sind; zweitens, dass jedes Gewebe früher eine

Masse mehr oder weniger fest aneinander geschlossener Zellen war; und drittens, dass der ganze Embryokörper einst nichts weiter war, als eine Anhäufung solcher Zellen.

5. Der menschliche Körper oder derjenige irgend eines anderen der höher entwickelten Tiere nimmt thatsächlich seinen Anfang als ein Ovum oder Ei. Dieses ist (Fig. 87) ein äusserst kleiner durchsichtiger kugeliger Sack, 0,2 mm im Durchmesser beim Menschen, welcher eine gleichfalls kugelige Masse von Protoplasma enthält, in welchem ein einziger grosser Kern eingebettet liegt.

Der erste Schritt zur Entstehung der so komplizierten Organisation eines Säugetieres aus diesem einfachen Gebilde ist die Teilung des Kernes in zwei neue Kerne, die sich voneinander entfernen, während gleichzeitig das Protoplasma durch eine enge Spalte, die zwischen den beiden Kernen hindurch geht, in zwei Massen oder Blastomeren geteilt wird, je eine für jeden Kern. Durch Wiederholung dieses Vorganges werden aus den zwei Blastomeren vier, aus vier werden acht, sechzehn und so fort, bis der Embryo eine Anhäufung zahlreicher kleiner Blastomeren oder kernhaltiger Zellen geworden ist. Diese wachsen auf Kosten der von aufsen zugeführten Nahrung und fahren fort, sich durch Teilung zu vermehren, gemäfs der jedem innewohnenden Neigung, bis endlich, lange bevor ein bestimmtes Gewebe zur Erscheinung kommt, sie sich zu einer Art von Modell des sich bildenden Tieres aufbauen, in welchem Modell viele, wenn nicht alle zukünftigen Organe durch einfache Anhäufungen voneinander nicht verschiedener Zellen vertreten sind.

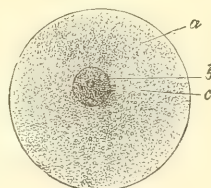


Fig. 87.

Schematische Darstellung eines Eies. *a* Körniges Protoplasma; *b* Kern, sogenanntes „Keimbläschen"; *c* Kernkörperchen, auch „Keimfleck" genannt.

6. Allmählich werden diese untereinander gleichen Zellen in Gruppen oder Abteilungen voneinander abweichender oder differenzierter Zellen umgewandelt, so dass die Zellen einer Gruppe untereinander gleich, aber von denjenigen anderer Gruppen verschieden sind. Jede Gruppe der differenzierten Zellen bildet ein „Gewebe" und jedes Gewebe ist verschiedentlich verteilt in den verschiedenen Organen, indem im allgemeinen jedes Organ aus mehr als einem Gewebe besteht.

Und diese Differenzierung des Baues wird begleitet von einer Veränderung der Eigenschaften. Die undifferenzierten Zellen sind, soviel wir sehen können, untereinander ebenso gleich in ihrer Thätigkeit und ihren Eigenschaften als in ihrem Bau. Aber in gleichem Schritt mit ihrer Differenzierung in Gewebe findet auch eine Arbeitsteilung statt, so dass in dem einen Gewebe die Zellen bestimmte Eigenschaften aufweisen und eine bestimmte Arbeit leisten, in einem anderen andere Eigenschaften und andere Arbeit und so fort.

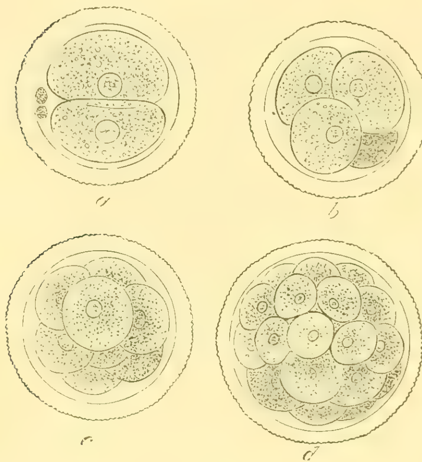


Fig. 88.

Die allmähliche Teilung eines Säugetiereies in Blastomeren (etwas schematisch). *a* Teilung in zwei, *b* in vier, *c* in acht und *d* in mehr Blastomeren. Der helle Ring, welcher letztere umgiebt, ist die sogenannte Zona pellucida oder Umhüllungshaut des Eies.

Die hauptsächlichsten Gewebe, in welchen sich die undifferenzierten Zellen des Embryo zu differenzierten umwandeln und aus denen sich die verschiedenen Organe und Teile des erwachsenen Körpers aufbauen, kann man auf folgende Weise einteilen:

1. Die wichtigsten Gewebe sind das Muskelgewebe und Nervengewebe, denn durch diese wird das Individuum befähigt, nach aufsen thätig zu sein.

2. Zunächst folgen die Epithelialgewebe, die einerseits eine Hülle für die Oberfläche des Körpers gewähren und die verschiedenen inneren Räume des Körpers begrenzen, andererseits einen grofsen Teil der chemischen Thätigkeit des Körpers ausüben, insofern als sie die wesentlichen Teile der verschiedenen drüsigen Organe des Körpers bilden.

3. Die übrigen wichtigen Gewebe des Körpers, das sogenannte Bindegewebe, das Knorpel- und das Knochengewebe, bilden eine Gruppe für sich, da sie alle drei im Bau untereinander ähnlich sind und alle drei mehr durch ihre passiven als aktiven Eigenschaften dem Körper von Nutzen sind. Sie dienen

besonders dazu, die übrigen Gewebe zu stützen und untereinander zu verbinden.

Diese hauptsächlichen oder Fundamentalgewebe sind häufig so zusammengestellt, dass hierdurch kompliziertere Teile des Körpers gebildet werden, die zuweilen, aber in anderem Sinne, die Bezeichnung Gewebe erhalten. So bilden sich aus verschiedenen Formen von Bindegewebe zusammen mit Muskel- und Nervengewebe die Blutgefäſse des Körpers (vergl. Vorl. II), und man spricht dann zuweilen von „Gefäſsgewebe“. Wiederum bildet eine gewisse Art Epithelialgewebe, unter der Bezeichnung „Epidermis“ bekannt, zusammen mit Bindegewebe, Blutgefäſsen und Nerven, die Haut oder das „Deckgewebe“; eine ähnliche Zusammensetzung von Epithelium mit anderen Geweben bildet die Schleimhaut, die den Darmkanal auskleidet und auch im sogenannten „Drüsengewebe“ vorkommt.

Wir wollen unsere Aufmerksamkeit hier auf die hauptsächlichen, im engeren Sinne sogenannten Gewebe beschränken.

7. Epithelial-Gewebe. Ein gutes Beispiel für dieses Gewebe finden wir in der Epidermis der Haut, welche letztere, wie wir gesehen haben (Vorl. V), aus der oberflächlich gelegenen eigentlichen Epidermis besteht, die gefäſslos und epithelialer Natur ist, und der darunter gelegenen Dermis oder Cutis, welche gefäſsreich ist und hauptsächlich aus Bindegewebe, das Blutgefäſse und Nerven einschlieſst, gebildet wird. Auch in allen Schleimhäuten findet sich eine gleiche obere epitheliale Lage, die hier einfach Epithelium genannt wird, und eine untere Lage, die in ähnlicher Weise aus Bindegewebe mit Blutgefäſsen und Nerven besteht und die man gleichfalls Dermis nennen könnte.

8. Wenn ein Stück frischer Haut kurze Zeit in Wasser eingeweicht wird, kann man leicht die Epidermis von der Cutis oder Dermis abstreifen.

Der äuſsere Teil der Epidermis, der durch Aufweichen abgelöst wurde, erweist sich als ziemlich fest und zusammenhängend, während ihre tiefere oder innere Schicht weich und fast gallertartig ist. Auſserdem füllt diese weichere Substanz alle Unregelmäſsigkeiten der Dermisoberfläche aus, an der sie fest haftet. Daher zeigen sich da, wo die Dermis sich in Form von Papillen oder Wärzchen erhebt, an der unteren Fläche der Epidermis unzählige Eindrücke, in welche die Papillen hineinpassen und

die ihr ein unregelmäſsiges Aussehen verleihen, ähnlich einem Netzwerk. Daher wurde diese untere Schicht der Epidermis nicht selten das Malpighi'sche Netz (*Rete Malpighii*) genannt, nach einem groſsen italienischen Anatomen des 17. Jahrhunderts, der es zuerst genau beschrieben hat. Andererseits wurde es auch wegen seiner weichen, gallertartigen Beschaffenheit das schleimige Lager (*stratum mucosum*) genannt. Die chemische Analyse zeigt, dass die feste äuſsere Lage der Epidermis sich vom unteren weichen Teil dadurch unterscheidet, dass sie sehr viel Hornsubstanz enthält. Daher wird diese Schicht auch Hornlager (*stratum corneum*) genannt.

Beim lebenden Menschen werden die oberen Lager der Epidermis von den unteren Lagern und der Dermis abgetrennt, wenn durch Reiben oder irgend eine andere Reizung eine „Blase" entsteht. Es ergieſst sich Flüssigkeit aus den Gefäſsen der Dermis, welche sich zwischen der oberen und unteren Lage der Epidermis ansammelt und die letztere abhebt.

9. Die Epidermis wächst beständig auf ihrer unteren, der Dermis zugewandten Seite derart, dass das Hornlager fortwährend abgestoſsen und von unten her neu ersetzt wird. Die Schüppchen, die sich zwischen den Haaren und auf der Oberfläche des Körpers ansammeln und durch unser tägliches Bürsten und Waschen entfernt werden, sind nichts anderes als diese abgeworfenen Epidermisteile. Wenn ein Glied wegen irgend einer Verletzung eingewickelt wird und wochenlang in diesem Zustand bleibt, dann sammelt sich die abgeworfene Epidermis auf der Hautoberfläche an in Form von Fetzen und Flocken, die durch Reiben in feines weiſses Pulver zerfallen. So „werfen wir unsere Haut ab", genau ebenso wie die Schlangen, nur dass die Schlange ihre abgestorbene Epidermis als eine zusammenhängende dünne Membran auf einmal abwirft, während wir die unsere Stückchen für Stückchen und von Stunde zu Stunde abstoſsen.

Welcher Art ist der Vorgang, durch den sich die Epidermis fortwährend erneuert?

Wenn man ein wenig von den Epidermisschüppchen mit Wasser vermischt und bei dreihundert- bis vierhundertfacher Vergröſserung untersucht, so scheint es nur aus unregelmäſsigen Teilchen von sehr verschiedener Gröſse und von nicht bestimmter Struktur zu bestehen. Hat man aber dem Wasser etwas kaustisches

Kali oder Natron hinzugefügt, dann ändert sich das Aussehen. Das kaustische Kali macht, dass die Hornsubstanz aufschwillt und durchsichtig wird; und nun sieht man, dass dieselbe aus äuſserst kleinen trennbaren Plättchen besteht, von denen einige einen rundlichen Körper im Innern des Plättchens enthalten, während man denselben bei vielen nicht mehr gut erkennen kann. In der That haben diese Körper, was ihre Form anbelangt, den Charakter von kernhaltigen Zellen, in welchen der protoplasmatische Inhalt mehr oder weniger in Hornsubstanz verwandelt worden ist.

So sehen wir, dass die abgeworfene Epidermis in Wirklichkeit aus mehr oder weniger zusammenhängenden Massen von verhornten, kernhaltigen Zellen besteht.

Es giebt aber noch eine einfachere Methode, um diese Thatsache zu beweisen. Von den Lippenrändern aus setzt sich die Epidermis in das Innere des Mundes fort, und obwohl sie hier den Namen Epithelium führt, unterscheidet sie sich von dem der übrigen Haut in keinem wichtigen Punkte, nur dass sie sehr dünn ist und dadurch dem Blut in den Gefäſsen der darunter liegenden Dermis durchzuscheinen gestattet. Man kehre die untere Lippe nach auſsen und schabe ihre Oberfläche sehr behutsam mit einem stumpfen Messer; dann breite man die so gewonnene Substanz aus, bedecke sie mit einem Deckgläschen und untersuche wie zuvor. Man wird das ganze Feld mit flachen, unregelmäſsigen Körpern bedeckt sehen, die den Epidermisschuppen sehr ähnlich, aber durchsichtiger sind und von denen jedes mit einem Kern in der Mitte versehen ist (Fig. 89).

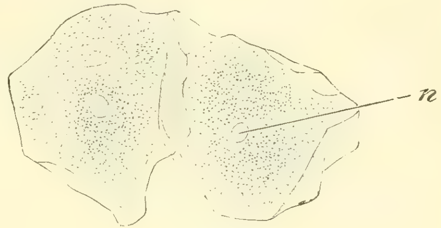


Fig. 89.

Zwei Epithelschuppen vom Mundinnern. Einen kleinen Kern *n* sieht man in jedem, ebenso kleine Körnchen im Innern des Plättchens. Die Ränder des Plättchens sind durch Druck unregelmäſsig geworden. Etwa vierhundertmal vergröſsert.

Da sich diese abgelösten Schuppen stets auf der inneren Oberfläche der Lippe finden, so folgt daraus, dass sie immerfort abgestoſsen werden.

10. Das hornige äuſsere Lager der Epidermis setzt sich also

zusammen aus verhornten flachen Zellen, welche fortwährend aus dem weichen inneren Lager sich ablösen, also auf irgend eine Weise von ihm herstammen müssen. Aber auf welche Weise? Hier verhilft uns die mikroskopische Untersuchung zu einer Antwort. Denn wenn das weiche Lager genügend aufgeweicht wird, so zerfällt es in kleine Massen kernhaltiger Protoplasmasubstanz, das heifst in kernhaltige Zellen, die im innersten oder tiefsten Teile des Lagers säulenförmig sind, indem sie in der zur Oberfläche der Dermis, auf welcher sie liegen, senkrechten Richtung länger sind, während die Zellen der Zwischenregion Übergänge in Form und anderen Beziehungen zwischen diesen und den abgeworfenen Schuppen aufweisen.

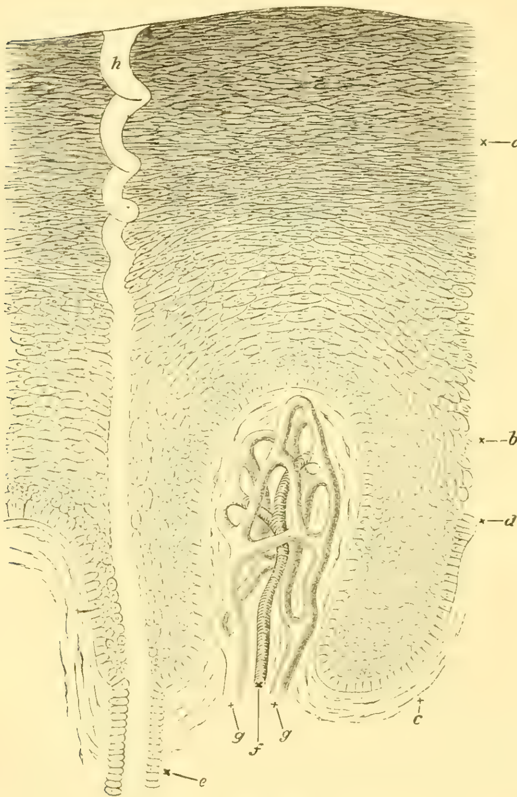


Fig. 90.

Ein dünner vertikaler Schnitt von Epidermis, die in unverletztem Zusammenhang mit der unterliegenden Dermis sich befindet, lässt keinen Zweifel (Fig. 90, *a*), dass die Epidermis aus nichts anderem als kernhaltigen Zellen besteht, welche vielleicht durch einen unendlich kleinen Betrag

Hautdurchschnitt, sehr vergröfsert und etwas schematisch. *a* Hornlager; *b* weiches Lager, Malpighisches Netz; *c* Dermis; *d* unterstes Lager der Epidermiszellen; *h* korkzieherförmig gewundener Ausführungsgang einer Schweifsdrüse. Rechts vom Schweifskanälchen erhebt sich die Dermis zu einer Papille, in welcher sich die kleine Arterie *f* in kleine Haargefäfse spaltet und zuletzt in die Venen *g* übergeht.

von Kittsubstanz zwischen den Zellen zusammengehalten werden; (*b*) dass vom tiefen zum oberen Teil die Zellen überall eine Folge von säulenartigen oder cylindrischen protoplasmatischen Formen bis zu flachen vollkommen verhornten Formen zeigen. Und da wir wissen, dass die letzteren fortwährend abgestofsen werden, so folgt daraus (*c*), dass diese Abstufungen in der Form Zellen aus dem tiefen Lager sind, die fortwährend zur Oberfläche vordringen und hier abgestofsen werden.

11. Was ist die Ursache dieses fortwährenden Nachrückens? Auch auf diese Frage erteilt die mikroskopische Untersuchung eine klare Antwort. Die tieferen Zellen wachsen fortwährend und vermehren sich durch Teilung in der Weise, dass der Kern einer Zelle sich in zwei neue teilt und sich um jeden derselben die Hälfte des Protoplasmas herumlegt. So entstehen aus einer Zelle zwei und jede von diesen wächst, bis sie ihre volle Gröfse erreicht auf Kosten des Nahrungsstoffes, der aus den Gefäfsen ausschwitzt, mit welchem die Dermis reichlich versehen ist; solche Zelle besitzt in Wirklichkeit die Lebenseigenschaften einer primitiven Embryozelle.

Die der Dermis näher gelegenen tieferen Zellen werden unmittelbarer und reichlicher mit Nahrung aus den dermalen Blutgefäfsen versorgt und dienen als Brennpunkt für Wachstum und Vervielfältigung der ganzen Epidermis; sie sind thatsächlich die Ahnen der an der Oberfläche liegenden Zellen, welche letztere durch Einschaltung immer neuer Zellen zwischen den zuletzt gebildeten und den Ahnen nach oben gedrängt werden und sich in Form und chemischer Zusammensetzung verändern, bis sie zuletzt absterben und abgestofsen werden.

Hieraus folgt, dass die Epidermis als ein zusammengesetzter Organismus angesehen werden muss, der aus Myriaden von Zellen besteht, deren jede ihren eigenen Gesetzen in Wachstum und Vermehrung folgt und nur allein abhängt von der genügenden Nahrungszufuhr aus den Dermalgefäfsen. Insofern besteht zwischen der Epidermis und der Dermis die gleiche Beziehung wie zwischen dem Rasen einer Wiese und dem darunter liegenden Erdreich.

12. Gewebe, welche nur deutlich erkennbar sind bei einer 300—400fachen Vergröfserung, sind selbstverständlich sehr klein, und es ist daher wünschenswert, dass der Schüler, ehe wir weiter gehen, eine klare Vorstellung von ihrer wirklichen und relativen

Gröfse durch Vergleich mit bekannten Gegenständen erhalte. Ein Haar des menschlichen Kopfes von mittlerer Feinheit hat einen Durchmesser von ungefähr 0,08 mm. Die Haare, aus denen der Kaninchenpelz besteht, sind noch viel feiner; der dickste Teil des Schaftes übersteigt gewöhnlich nicht 0,025 mm, während die feine Spitze eines solchen Haares nur noch eine Dicke von 0,001 mm oder noch weniger hat.

Bei mikroskopischen histiologischen Untersuchungen liegen die Grenzen der Gröfsen, mit denen wir gewöhnlich zu thun haben, zwischen dem zehnten und dem tausendsten Teile eines Millimeters. Es ist daher sehr beqem, diese letztere Gröfse, also 0,001 mm oder einen sogenannten Mikromillimeter, als Gröfseneinheit anzunehmen und alle anderen Gröfsen als Vielfache dieser Einheit auszudrücken. Als Zeichen für diese Einheit benutzen wir den griechischen Buchstaben μ. Wenn also die äufserste Spitze eines Kaninchenhaares ein μ im Durchmesser hat, so hat die Mitte des Schaftes 25 μ und der Schaft eines menschlichen Haares 80 μ.

Nach diesem Mafse haben die tiefen Zellen der Epidermis im Mittel einen Durchmesser von 12 μ oder mehr, die Kerne von 4 μ bis 5 μ, während die oberflächlichen Zellen Plättchen von ungefähr 25 μ Durchmesser sind und die Kerne ungefähr die gleiche Gröfse behalten. Der Durchmesser eines weifsen Blutkörperchens beträgt etwa 10 μ, der eines roten Blutkörperchens des Menschen etwa 7 μ bis 8 μ. Daraus ersieht man, dass die tiefen Zellen der Epidermis etwas gröfser als weisse Blutkörperchen sind und die obersten viel gröfser, wenigstens der Oberfläche nach.

13. Die eigentliche Epidermis zeigt überall im wesentlichen die gleichen Eigenschaften. Ihre Durchdringbarkeit für Wasserdampf gestattet, wie wir gesehen haben, das Durchschwitzen der sogenannten unmerklichen Perspiration, und hierdurch spielt sie die Rolle eines Absonderungsorganes, während man, insofern sie fortwährend Hornzellen bildet und abwirft, sagen kann, dass sie Hornmasse ausscheidet.

Aber an vielen Teilen des Körpers werden die Absonderungsthätigkeiten der Haut konzentriert und verstärkt durch eine sehr einfache Abänderung der Epidermis, indem sich dieselbe nach innen in sack- oder röhrenartige Einstülpungen fortsetzt. Dies

sind die sogenannten Hautdrüsen, deren es zweierlei giebt, Schweifsdrüsen und Talgdrüsen.

Die Schweifsdrüsen sind, wie wir gesehen haben (Vorl. V), lange Röhren, deren untere Enden tief in der Dermis liegen, zu einem Knäuel gewunden und von einem reichen Netzwerk von Haargefäfsen umgeben (s. Fig. 31, 33, pp. 121, 123 und Fig. 90).

Die Talgdrüsen haben annähernd die Form von kurzen sackartigen Taschen; ihre Zellsubstanz ist chemischen Veränderungen unterworfen, nicht in Horn- sondern in Fettsubstanz, welche, wenn die Zellen abgestofsen werden und bersten, aus dem Hals oder Ausführungsgang der Tasche entleert wird.

14. In anderen Teilen werden die verhornten Zellen nicht sogleich als Schuppen und Fetzen abgeworfen, sondern bilden zunächst ausgeprägte Strukturen, die als Nägel und Haare bekannt sind. Dieselben wachsen durch beständige Anlagerung von Masse an die Oberflächen, mit denen sie an der Epidermis anhaften. Bei den Nägeln hat dieses Wachstum keine Grenze, und der Nagel hält nur dadurch eine bestimmte Gröfse ein, weil sich sein freies oder ältestes Ende abnutzt. Bei den Haaren

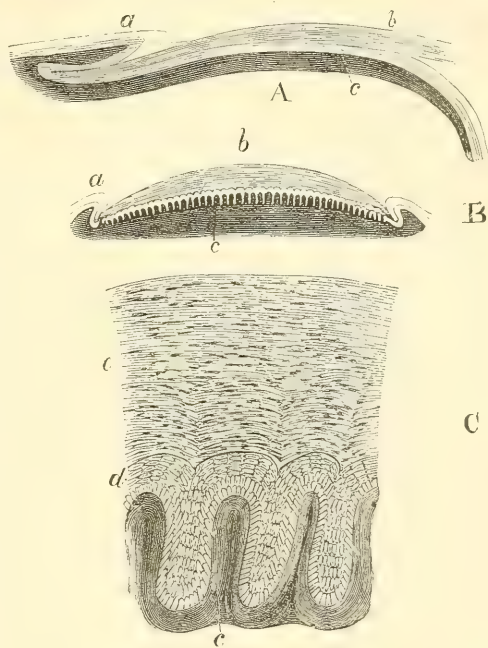


Fig. 91.

A. **Ein Längsschnitt normal zur Oberfläche eines Nagels.** *a* die Falte an der Basis des Nagels; *b* der Nagel; *c* das Nagelbett.

B. **Die Figur ist ein Querschnitt senkrecht zur Richtung der vorigen.** *a* eine kleine Seitenfalte der Haut; *b* Nagel; *c* das Nagelbett mit seinen Leisten.

C. **Die Figur ist eine sehr vergröfserte Ansicht eines Teiles der vorhergehenden.** *c* die Leisten; *d* die tieferen Lagen der Epidermis; *e* Hornschuppen, zu Nagelsubstanz verwachsen. (Fig. A und B ungefähr 4 mal, Fig. C etwa 200 mal vergröfsert.)

hingegen ist das Wachtum jedes Haares begrenzt, und wenn es seine Gröfse erreicht hat, fällt es aus und wird durch ein neues ersetzt.

15. Unterhalb jedes Nagels ist das tiefe oder Dermislager der Haut eigentümlich abgeändert und stellt so das Nagelbett dar. Es ist sehr gefäfsreich und zu zahlreichen parallel verlaufenden Leisten, gleichsam verlängerten Papillen, erhöht Fig. 91, B, C). Die Oberflächen all dieser Leisten sind mit wachsenden Epidermiszellen bedeckt, welche in dem Masse, als sie flach werden, sich in Hornsubstanz verwandeln und so eine feste, zusammenhängende Platte, den Nagel, bilden. An der hinteren Seite des Nagelbettes bildet die Deckhaut eine tiefe Falte, aus deren Tiefe auf ähnliche Weise neue Epidermiszellen an die Basis des Nagels gefügt werden, der hierdurch gezwungen wird, sich fortzubewegen.

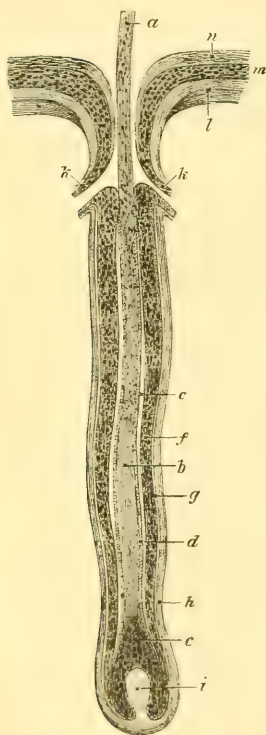


Fig. 92.

Ein Haar in seinem Haarsack. *a* Haarschaft oberhalb der Haut; *b* Rindensubstanz des Schaftes, dessen Mark unsichtbar ist; *c* jüngster Abschnitt des Haares auf der Papille *i* wachsend; *d* dünnes Oberhäutchen des Haares; *e* Hohlraum des Haarsackes; *f* Epidermis (und Wurzelscheiden) des Haarsackes, entsprechend derjenigen der Deckhaut (*m*); *g* Spaltung zwischen Dermis und Epidermis; *h* Dermis des Haarsackes, entsprechend der Dermis der Haut (*e*); *k* Öffnung von Talgdrüsen; *n* Hornschicht der Deckhaut.

Der Nagel erhält auf diese Weise fortwährend Zuwachs von unten und hinten, gleitet hierdurch vorwärts über sein Bett hin und wächst über das Fingerende hinaus, wo er entweder abgenutzt oder abgeschnitten wird.

16. Ein Haar ist wie der Nagel aus Hornzellen zusammengesetzt. Aber während dieser nur teilweise in einer Falte der Deckhaut steckt, ist das Haar in seinem Anfangsteil vollkommen in eine Art Sack eingesenkt, den Haarsack, aus dessen Tiefe eine Papille (Fig. 92, i) sich erhebt, die einer einzigen Leiste des Nagelbettes entspricht. Das Haar entwickelt sich aus

den oberflächlichen Epidermiszellen, die die Papille bekleiden, indem diese sich in Hornsubstanz umwandeln und sich zu einem Schaft zusammenfügen. Da diese zusammenhängenden verhornten Zellen fortwährend durch neu wachsende von unten her ersetzt werden, welche die gleiche Verwandlung durchmachen, wird der Haarschaft nach aufsen fortgeschoben, bis er seine vollkommene natürliche Länge erreicht hat. Sein unteres Ende hört dann auf zu wachsen und die alte Papille mit dem Sack stirbt ab. Zuvor haben sich jedoch eine neue Papille und ein neuer Sack durch Knospung aus den Seiten des alten Sackes gebildet. Aus diesen entsteht ein neues Haar. Der Schaft eines Kopfhaares besteht aus der centralen Marksubstanz, einem lockeren Gewebe, welches zuweilen Luft enthält, der Rindensubstanz, welche das Mark umgiebt und aus miteinander verwachsenen länglichen Hornzellen gebildet wird, und aus einem feinen Oberhäutchen, das aus flachen Hornplättchen besteht, die der Quere nach um den Schaft so angeordnet sind, dass immer eins das andere mit seinen äufseren Rändern überragt, wie fest aneinander gelegte Dachziegel. Die oberflächlichen Epidermiszellen des Haarsackes verschmelzen ebenfalls an ihren Rändern und werden zur Wurzelscheide, welche die Wurzel des Haares einfafst und gewöhnlich beim Ausreifsen eines Haares mitgerissen wird.

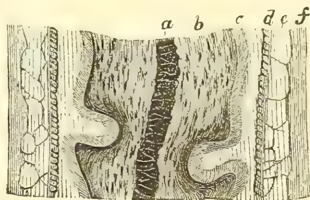


Fig. 93.

Teil des Haarschaftes, in seine Wurzelscheiden eingeschlossen und mit kaustischer Soda behandelt, wodurch der Schaft verzerrt wurde. *a* Mark; *b* Rindensubstanz; *c* Oberhäutchen des Schaftes; von *d* zu *f* die Wurzelscheiden im Durchschnitt. (Etwa 200 mal vergröfsert.)

17. Die Schleimhaut, welche den Verdauungskanal auskleidet, ist, wie wir schon gesagt haben, im Bau der Oberhaut gleich, insofern als sie aus einer gefäfsreichen Dermis und einem gefäfslosen Epithel besteht; letzteres ist aus nebeneinander liegenden Zellen gebildet. Aber mit Ausnahme des die Mundhöhle auskleidenden Teiles, wo, wie wir gesehen haben, das Epithel, ebenso wie die Epidermis, aus vielen Zellenlagen besteht, nämlichaus einem weichen Lager, dem Malpighi'schen Netz, und einem harten Hornlager, und dem Ösophagus, wo die Anordnung ähnlich ist, bestehen das

Epithel des Verdauungskanals und die Fortsätze dieses Epithels in die Gänge und Alveolen der verschiedenen Drüsen aus kaum mehr als einer einzigen Lage von dicht aneinandergefügten Zellen. Daher sieht man an einem senkrecht zur Oberfläche der Schleimhaut geführten Schnitt die gefäſsreiche Dermis von einer einzigen Lage weicher kernhaltiger Zellen bedeckt; und nur an einzelnen Stellen ist noch eine zweite Reihe fast unmerklicher kleiner Zellen unter der oberen Schicht zu sehen. Die Zellen, welche diese einzige Lage bilden, sind verschieden in der Form, entweder cylindrisch oder kegelförmig oder, wie besonders in den Drüsen, würfelförmig oder kugelförmig; immer aber sind sie zarte Protoplasmaklümpchen, jede mit einem Kern im Innern. Die polygonalen Leberzellen (vergl. Vorl. V) sind in Wirklichkeit Epithelzellen, die den kleinsten Gallenkanälchen angehören, welche zwischen ihnen verlaufen.

In der Luftröhre und den Bronchien besteht das Epithel der Schleimhaut wiederum aus mehreren Lagen von Zellen, aber alle sind weiche kernhaltige Protoplasmamassen; die oberste Lage ist cylindrisch und mit Flimmerhaaren besetzt. Im Harnleiter und in der Blase besteht das Epithel ebenfalls aus mehreren Lagen von Zellen, die häufig unregelmäſsig in der Form sind.

Was schlieſslich die Blut- und Lymphgefäſse sowie die groſsen serösen Höhlungen, wie die Brust- und Bauchhöhle anlangt, so sind ihre Oberflächen mit einem eigentümlichen Epithel bekleidet, das sich in seinem Ursprung vom Epithel der Oberhaut und der Schleimhäute unterscheidet. Es besteht aus einer einzelnen Lage flacher kernhaltiger Plättchen, die an ihren Rändern durch eine spärliche Kittsubstanz aneinander geheftet sind. Die Formen der Plättchen oder Zellen sind verschieden: einige sind polygonal, andere spindelförmig und noch andere ganz unregelmäſsig.

18. Eine zweite Gruppe von Geweben, für welche der Knorpel als einfachste typische Form gelten kann, unterscheidet sich vom Epithel in sehr auffallender Weise. An welcher Stelle man auch Epithelien untersucht, immer sind seine Zellen eng aneinander geschlossen angeordnet und der Betrag an Stoff, der sich zwischen den Zellen als Zwischenzellsubstanz befindet, ist sehr gering. In der Gruppe von Geweben jedoch, zu welchen der Knorpel gehört, hat sich, wie wir sehen werden,

eine sehr beträchtliche Masse Intercellularsubstanz zwischen den einzelnen kernhaltigen protoplasmatischen Zellen entwickelt. Daher sind die Zellen mehr oder weniger deutlich in eine von ihnen selbst verschiedene Substanz eingebettet, welche Matrix Muttersubstanz, genannt wird. Beim Epithel ist diese Substanz, obgleich die Zellen auch zuweilen durch eine Kittsubstanz aneinander hängen, nie so reichlich, um den Namen Matrix zu verdienen.

19. Knorpel. — Charakteristische Beispiele für dieses Gewebe bieten die Rippenknorpel, welche mehrere Rippen mit dem Brustbein verbinden. Eine dünne, aber sehr feste Lage gefäfshaltigen Bindegewebes bekleidet die Oberfläche des Knorpels und hängt fest mit ihr zusammen. Sie wird Knorpelhaut, Perichondrium, genannt. Die Substanz des Knorpels selbst ist gefäfslos; sie ist hart, aber nicht spröde, denn sie biegt sich bei Druck; und überdies ist sie elastisch, denn sie kehrt zu ihrer ursprünglichen Form zurück, wenn der Druck nachlässt. Sie kann leicht in sehr feine Scheiben zerschnitten werden, die so durchsichtig sind wie Glas und dem blofsen Auge ganz gleichförmig erscheinen. Verdünnte Säuren und Alkalien üben in der Kälte keine Wirkung auf sie aus; aber wenn sie in Wasser gekocht wird, scheidet sie eine der Gelatine ähnliche, aber etwas abweichende Substanz aus, welche Knorpelleim, Chondrin, genannt wird.

Die Rippenknorpel sind beim erwachsenen Menschen um vieles gröfser als beim Kinde. Hieraus folgt, dafs die Knorpel wachsen müssen. Die einzige Quelle, aus welcher sie den nötigen Nahrungsstoff ziehen können, ist das Plasma, welches aus dem in den Gefäfsen des Perichondriums enthaltenen Blut ausgeschwitzt wurde. Das gefäfsreiche Perichondrium steht daher in der gleichen Beziehung zu dem gefäfslosen Knorpelgewebe wie die gefäfsreiche Dermis zu der gefäfslosen Epidermis. Aber da der Knorpel von allen Seiten von Perichondrium umkleidet ist, so ist es klar, dafs kein Teil des Knorpels in der Art abgestofsen werden kann, wie die Epidermis ihre obersten Lagen abstöfst. Da die Nährstoffe, auf deren Kosten der Knorpel wächst, vom Perichondrium geliefert werden, so könnte man schliefsen, dafs der Knorpel nur an seiner Oberfläche wächst. Aber wenn man ein Stück Knorpel in eine färbende Flüssigkeit legt, so

wird man finden, daſs es bald durch und durch gefärbt wird. Trotz seiner Zähigkeit ist also der Knorpel sehr durchdringbar. und daher kann auch das nährende Plasma denselben durchdringen und jeden Teil befähigen zu wachsen.

20. Wenn ein dünner Schnitt von vollkommen frischem und lebendem Knorpel auf eine Glasplatte gelegt wird, ohne Hinzufügung von Flüssigkeit oder nur mit einer geringen Menge Serum, so erscheint er dem bloſsen Auge, wie wir schon sagten, ebenso gleichartig wie ein Stück Glas. Aber schon bei Anwendung einer gewöhnlichen Handlupe sieht man, dass es nicht vollkommen homogen ist, insofern man äuſserst kleine Punkte von geringerer Durchsichtigkeit einzeln und in Gruppen durch den ganzen Schnitt hindurch zerstreut wahrnimmt. Wenn der Schnitt durch ein Mikroskop untersucht wird (Fig. 94), so erkennt man diese Punkte als kernhaltige Zellen, die in der Form verschieden aber gewöhnlich mehr oder weniger kugelähnlich sind, zuweilen weit ab voneinander, zuweilen sehr nahe aneinander liegen oder sogar in Berührung miteinander. In letzterem Falle sind die aneinanderliegenden Seiten abgeflacht. Gewöhnlich hat jede Zelle einen einzigen Kern, aber zuweilen sind deren zwei in einer Zelle. Und zuweilen erscheinen Fettkügelchen in dem Protoplasmakörper der Zelle und füllen manchmal dieselbe vollkommen aus.

In der Regel liegt jede Zelle in einer Höhlung der durchsichtigen Matrix oder Zwischenzellsubstanz, welche die Hauptmasse des Gewebes bildet, und füllt dieselbe ganz aus. Aber zuweilen kommt einem Paar dichtaneinander liegender abgeflachter Zellen nur eine einzige Höhlung gemeinsam zu. Auch kann man alle Arten von Abstufungen finden zwischen halbkugelförmigen Zellen, die sich berühren, halbkugelförmigen Zellen, die nur durch ein dünnes Häutchen von Zwischenzellsubstanz getrennt sind, und weit voneinander liegenden kugelförmigen, elliptischen und anders geformten Zellen. In der Gröſse sind die Zellen auch sehr verschieden, einige nicht gröſser als 10 μ, andere 50 μ und gröſser.

Wenn der Knorpel abstirbt und besonders wenn ihm Wasser zugesetzt wurde, schrumpfen die Protoplasmakörper der Zellen ein und werden unregelmäſsig von den Wänden der Höhlungen,

in welchen sie liegen, abgezogen und das Aussehen des Gewebes ist dann sehr verändert.

In der Matrix oder Zwischenzellsubstanz ist unter gewöhnlichen Umständen keine Struktur zu unterscheiden. Man kann sie aber in dünne Plättchen oder Häute trennen. Die Teile der Matrix, welche unmittelbar die verschiedenen Höhlungen umgeben, unterscheiden sich in Aussehen und Beschaffenheit von dem anderen Teil der Matrix, indem sie ausgesprochene Kapseln für die Zellen bilden (Fig. 94, c); und zuweilen kann man die Matrix durch geeignete Methoden in Stücke splittern, deren jedes einer Zelle oder einer Gruppe von Zellen angehört und die oft, in konzentrischen Lagen angeordnet, dieselben umgiebt.

Dicht an der perichondrialen Oberfläche des Knorpels sind die Zellen kleiner und durch weniger Zwischenzellsubstanz getrennt, bis schliefslich die knorpelige durchsichtige Substanz durch die fibröse Substanz des Bindegewebes ersetzt wird (§ 22) und die Knorpelzellen die Form von „Bindegewebekörperchen“ annehmen.

21. In einem sehr jungen Embryo finden wir an Stelle der Rippenknorpel nichts als eine Masse dicht aneinanderliegender undifferenzierter kernhaltiger Zellen, welche im wesentlichen die gleichen Merkmale zeigen wie die weifsen Blutkörperchen oder die tiefstliegenden Epidermiszellen. Dieser so beschaffene Anfang oder das embryonische Modell des künftigen Knorpels nimmt an Gröfse zu durch Wachstum und Teilung

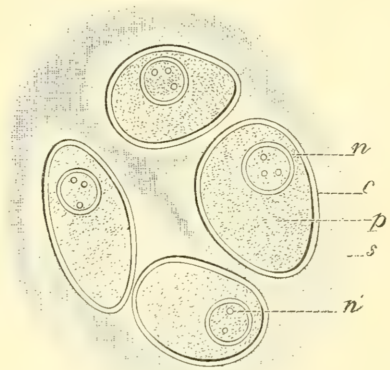


Fig. 94.

Kleiner Teil eines Schnittes von Gelenkknorpel (Frosch) sehr stark vergrössert (600 Diam.). *s* Matrix oder Zwischenzellsubstanz; *p* das Protoplasma des Knorpelkörperchens; *n* sein Kern mit *n'* den kleinen Körnchen; *c* die Kapsel oder die Wand der Höhlung in welcher das Knorpelkörperchen liegt. Die vier hier dargestellten Zellen scheinen durch Teilung einer einzelnen Zelle entstanden, erst in zwei, dann in vier. Die Schattierung der Matrix in schräger Linie zeigt die vorhergehende Teilung in zwei an.

seiner Zellen. Aber nach einiger Zeit erscheint die charakteristische Zwischenzellsubstanz, zuerst in kleinen Mengen zwischen den zu innerst gelegenen Zellen der Masse und so entsteht ein zarter echter Rippenknorpel. Dieser verwandelt sich in den ausgewachsenen Knorpel a) durch die unausgesetzte Teilung und nachfolgendes Wachstum aller seiner Zellen zu voller Gröſse, besonders derjenigen, die an der Oberfläche liegen; b) durch die fortwährende Zunahme der Masse von Zwischenzellsubstanz, besonders im tieferen Teil des Knorpels.

Die Art, wie die Zwischenzellsubstanz sich vermehrt, ist noch nicht festgestellt. Wenn in der Epidermis nur das äuſsere Lager der protoplasmatischen aneinandergrenzenden Zellen sich in Hornsubstanz verwandeln und zu einer Masse verschmelzen würde, während der Rest jeder Zelle fortführe zu wachsen und sich zu teilen, und wenn die Nachkommenschaft frische äuſsere verhornte Lager aussonderte, so würden wir eine Hautstruktur haben, die dem Knorpel ähnlich wäre, nur dass die „Zwischenzellsubstanz“ hornig wäre anstatt chondrigen. Möglich, dass die Zwischenzellsubstanz des Knorpels auf diese Weise gebildet wird. Aber es ist auch möglich, dass die chondrigene Substanz von den Zellen abgesondert und in die Zwischenräume ausgeführt wird wie die Bestandteile der Galle in die Zwischenräume der Leberzellen ausgestoſsen werden, oder sonst auf irgend eine Art mit Hilfe der Zellen hergestellt wird, ohne dass die Zellsubstanz thatsächlich in sie verwandelt zu werden braucht. Unsere Kenntnisse gestatten uns bisher noch nicht ein endgiltiges Urteil über diesen Punkt zu fällen. Eines aber scheint sicher, dass die Zellen auf irgend eine Weise dabei beteiligt sind: die Matrix ist unfähig sich bei völliger Abwesenheit von Zellen zu vermehren.

Die Embryozellen, aus denen Knorpel entsteht, sind mit unseren jetzigen Hilfsmitteln in keiner wesentlichen Hinsicht zu unterscheiden von denjenigen, welche die Epidermis bilden.

Dennoch muss die gleiche Form eine verschiedene molekulare Beschaffenheit verbergen, da sie beide, wenn sie durch die Einwirkung der Temperatur, der Sauerstoff- und Nahrungszufuhr, denen sie im lebenden Körper ausgesetzt sind, in Bewegung kommen, in ihren letzten Produkten so weit voneinander verschiedene Gewebe liefern als Knorpel und Epidermis sind.

Die embryonalen Knorpelzellen wie die embryonalen Epidermiszellen sind lebende Organismen, welchen gewisse bestimmt umgrenzte Möglichkeiten von Wachstum und Verwandlung innewohnen, wie sie sich in gleich einfachen Organismen, den Sporen der gemeinen Schimmelpilze, Penicillium und Mucor, vorfinden. Wenn die geeigneten äufseren Bedingungen gegeben sind, entwickeln sich diese zu Pilzen von verschiedenen Arten, und ebenso entstehen aus jenen Zellen verschiedene Gewebe, Knorpel aus den einen, Hornplättchen aus den anderen.

22. Bindegewebe (vergl. Vorl. I, § 12). Eine Probe dieses Gewebes aus der tiefen Lage der Haut oder zwischen den Muskeln eines Gliedes genommen, ist eine weiche faserige Substanz, welche, wenn man ein kleines Stück sorgfältig in Flüssigkeit auf einer Glasplatte ausbreitet und ohne Hilfe des Mikroskops untersucht, als aus halb durchsichtigen weifslichen Bändern und Fasern von sehr verschiedener Dicke erscheint, die so ineinander verschlungen erscheinen, dass sie ein Netzwerk bilden, dessen Maschen ungemein unregelmäfsig sind. Daher nannten die älteren Anatomen dieses Gewebe areoläres oder Zellgewebe. Dieser Name ist aber besonders deshalb als unzweckmäfsig aufgegeben worden, weil wir jetzt unter „Zelle“ etwas ganz anderes verstehen.

In Wasser gekocht, schwillt das Bindegewebe an und giebt Leim ab, welcher zu einer Gallerte erstarrt, wenn man das Wasser abkühlt. Nach längerem Kochen, besonders unter höherem Druck, wird es fast gänzlich zur Gelatine oder Leim aufgelöst; nur ein kleiner fester, faseriger Rest bleibt zurück.

Verdünnte Säuren und Alkalien verursachen auch beim Bindegewebe ein Aufschwellen und glasartige Durchsichtigkeit, aber sie lösen es nicht auf. Denn wenn zu einem Teil des auf diese Weise durch Säuren oder Alkalien veränderten Gewebes so viel Alkalien oder Säuren hinzugefügt werden, um die Reaktion wieder neutral zu machen, so kekrt das Gewebe zu seiner normalen Beschaffenheit zurück.

Wenn eine solche durch verdünnte Essigsäure durchsichtig gemachte Probe durch ein Vergröfserungsglas betrachtet wird, so sieht man feine, dunkle Linien und Punkte durch die anscheinend homogene Masse zerstreut. Unter dem Mikroskop sieht man, dass diese Linien scharf ausgeprägte Fasern einer stark licht-

brechenden Substanz sind. Sie sind sehr elastisch und werden selbst von starken Säuren oder Alkalien oder bei längerem Kochen nicht verändert. Daher bildeten diese elastischen Fasern einen beträchtlichen Teil des oben erwähnten Restes.

Die durch das Vergröfserungsglas gesehenen Punkte erkennt man unter dem Mikroskop als kleine kernhaltige Zellen. Man nennt sie Bindegewebskörperchen, gerade wie man die Zellen des Knorpels Knorpelkörperchen nennt.

So gleicht Bindegewebe dem Knorpel insofern, als es aus Zellen besteht, welche durch eine grofse Masse von Zwischenzellsubstanz getrennt sind; aber diese Zwischenzellsubstanz ist weich, netzförmig, faserig und besteht zum gröfsten Teil entweder aus leimgebender (*collagener*) oder elastischer Substanz, im Gegensatz zu derjenigen des Knorpels, welche hart, fest, blätterig und *chondrigen* ist. Erstere giebt beim Kochen Leim, letztere Chondrin.

Eine Probe von frischem Bindegewebe in seiner eigenen Flüssigkeit für das Mikroskop präpariert, zeigt ein sehr verschiedenes Aussehen. Das Gesichtsfeld wird von Strängen oder Fäden von äufserst verschiedener Dicke eingenommen, welche einander in allen Richtungen kreuzen und häufig wellig sind. Einige der Fäden erkennt man als elastische durch ihren stark lichtbrechenden Charakter, aber die meisten sind blass und nicht dunkel konturiert. Alle dickeren Fäden und Stränge zeigen eine feine Längsstreifung, als ob sie Bündel von aufserordentlich feinen Fäserchen wären (Fig. 95 A). In Zwischenräumen sind diese Bündel häufig von Ringen einer stärker lichtbrechenden Substanz umgeben und Fasern desselben Charakters können spiralig um die Bündel angeordnet sein.

Wenn verdünnte Essigsäure der Probe hinzugefügt wird, so quellen die blassen Fäden und längsgestreiften Stränge auf und die Längsstreifung verschwindet; daher kommt es, dass die Probe so durchsichtig wird (Fig. 95 B). Überdies sind es diese gestreiften Fäden und Stränge, welche durch kochendes Wasser aufgelöst werden und Leim abgeben. Wir können daher von ihnen als von collagenen oder gelatinegebenden Fasern sprechen, um sie zu unterscheiden von den Fasern der elastischen Substanz, welche keinen Leim beim Kochen liefern und eine andere chemische Zusammensetzung haben.

Durch verschiedene Arten von Maceration (Aufweichung) kann man die collagenen Fasern in Fäden zerlegen, welche den Räumen zwischen den Schleifen entsprechen und von so äufserster Feinheit sind, dass sie im Durchmesser weniger als 1 μ haben. Es scheint daher, dass die Zwischenzellsubstanz des Bindegewebes, von dem wir jetzt reden, aus a) collagenen Fasern besteht, welche durch eine Kittmasse zu Bündeln vereinigt sind, und b) aus elastischen Fasern. Diese letzteren sind gewöhnlich zu langmaschigen Netzen verbunden (Fig. 96).

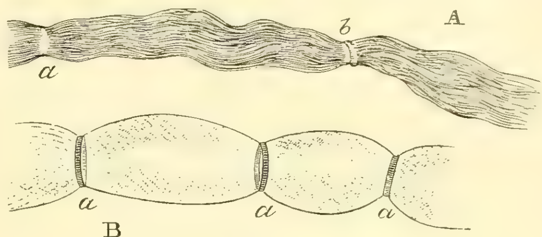


Fig. 95.

A. **Ein kleines Bündel Bindegewebe**, der Länge nach gefasert und mit umschnürenden (ringförmigen und spiraligen) Fasern bei *a* und *b*. 400fache Vergröfserung.

B. **Ein gleiches Bündel**, aufgequollen und durchsichtig gemacht durch verdünnte Säure. Die umschnürenden Fasern sieht man bei *a*, *a*, *a*.

Mit einigem Aufwand von Mühe kann man die Zellen oder Bindegewebekörperchen auch in frischem, lebenden Bindegewebe beobachten (Fig. 97); aber, wie schon gesagt, sie sind am deutlichsten sichtbar, wenn das Gewebe mit verdünnter Essigsäure behandelt wird.

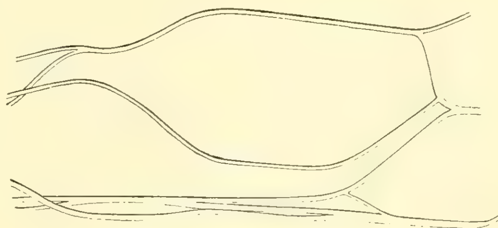


Fig. 96.

Elastische Fasern des Bindegewebes, ein loses Netzwerk bildend. Durch geeignetes Präparieren aus Unterhautbindegewebe gewonnen. 800fache Vergröfserung.

Diese Zellen erscheinen, wenn man sie im frischen Gewebe sieht und sorgfältig die beim Absterben eintretenden Veränderungen vermeidet, denen sie leicht unterworfen sind, als abgeflachte Plättchen, sehr ähnlich den Epithelschüppchen, aber mit sehr unregelmäfsigen Rändern. Sie hängen fest an den

konvexen Oberflächen der gröfseren Bündel der collagenen Fasern, um welche sie, wie es scheint, herumgebogen sind.

Aufser diesen „fixen" Bindegewebekörperchen, wie sie genannt werden, findet man weifse Blutkörperchen oder Lymphkörperchen oder ihnen sehr ähnliche Körper lose in der Flüssigkeit liegen, welche die Maschen des Fasernetzwerkes ausfüllt. Sie scheinen durch die Räume des Netzwerkes zu wandern, vermöge ihrer Fähigkeit zu amoeboider Bewegung (vgl. Vorl. III). Solche Zellen nennt man Wanderzellen.

23. So lernten wir die Eigenschaften von einem, wie man sagen kann, typischen Beispiel von Bindegewebe kennen. Aber in verschiedenen Teilen des Körpers zeigt dieses Gewebe grofse Unterschiede, welche jedoch alle abhängen von der verschiedenen relativen Ausdehnung, zu welcher die verschiedenen Elemente des Gewebes entwickelt sind.



Fig. 97.

Zwei Bindegewebekörperchen. Jedes besteht, wie man sieht, aus einem protoplasmatischen, verzweigten Körper, der einen Kern enthält. Sehr stark vergröfsert.

a) So kann erstens die Intercellularsubstanz sehr spärlich sein im Verhältnis zu den Zellen, wie es der Fall ist bei dem obersten Lager der Dermis und an anderen Stellen.

b) Zweitens kann die Zwischenzellsubstanz sehr reichlich sein, mit sehr gut entwickelten elastischen Elementen und mit collagenen Elementen, deren Fibrillen scharf ausgeprägt und in festgepackte, parallele Bündel geordnet sind, so dass sie nur Spalten statt der weiten Maschen des gewöhnlichen Bindegewebes bilden. Diesen Bau sieht man in solch zähen und starken Gebilden von Bindegewebe, wie die Sehnen und Bänder sie darstellen.

c) Das elastische Element überwiegt, wie bei dem starken Nackenband (*ligamentum nuchae*), welches so hoch entwickelt ist bei langhalsigen Tieren, wie bei Pferden und anderen, und in den Stimmbändern des Kehlkopfes (vgl. Vorl. VII).

d) Die fibrösen oder elastischen Elemente sind reichlich da,

aber ein gröfserer oder geringerer Betrag chondrigener Substanz hat sich um die Körperchen entwickelt. Auf diese Weise sind die Faserknorpel und die elastischen Knorpel gebaut, welche den Übergang zwischen gewöhnlichem Knorpel und gewöhnlichem Bindegewebe darstellen (Kehldeckel, Zwischenwirbelbänder). Wo eine Sehne an einen Knorpel sich ansetzt, wie es bei der Achillessehne der Fall ist, sieht man den Übergang vom Knorpel zur Sehne wunderschön dargestellt. Die Zwischenzellsubstanz des Knorpels nimmt allmählich die Eigenschaften derjenigen der Sehne an und die Knorpelkörperchen werden zu Bindegewebskörperchen.

e) Endlich findet man in verschiedenen Teilen des Körpers Fettsubstanz innerhalb der Protoplasmasubstanz der Bindegewebskörperchen, gerade wie wir es auch in Knorpelkörperchen gefunden haben. Die fettige Ablagerung nimmt an Masse zu, dehnt zu gleicher Zeit den Körper der Zelle aus, bis dieselbe ein kugelförmiger, mit Fett angefüllter Sack wird, dessen Kern nach einer Seite gedrückt ist (Fig. 98). Das sichtbare Fettgewebe, das man in vielen Teilen des Körpers findet, besteht einfach aus einer Vereinigung einer grofsen Menge dieser modifizierten Zellen, die zusammengehalten werden durch ein gefäfsführendes

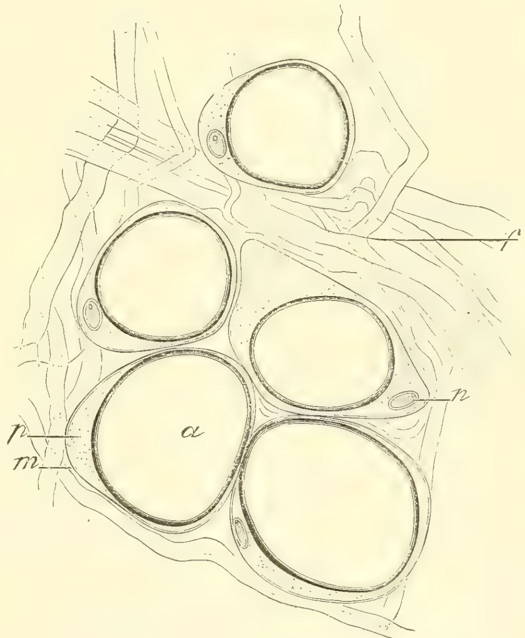


Fig. 98.

Fettgewebe. Fünf Fettzellen, durch Bündel von Bindegewebe (*f*) zusammengehalten; *m* die Membran oder Umhüllung der Fettzellen; *n* der Kern; *p* Überrest des protoplasmatischen Zellinhaltes, welcher durch den Fetttropfen *a* an die Wand gedrängt ist. Vergröfserung 200.

Rahmenwerk, welches von dem Bindegewebe, zu dessen Bereich es gehört, geliefert wird.

24. Bei dem jungen Embryo sind die Stellen, wo Bindegewebe später erscheinen soll, von Massen einfacher, undifferenzierter, kernhaltiger Zellen besetzt. Allmählich werden die Zellen voneinander getrennt durch eine durchsichtige Zwischenzellsubstanz oder Matrix, die je nachdem die Form von collagenen oder elastischen Fasern annimmt, deren relatives Verhältnis und Verteilung nach der Art des Bindegewebes, das gebildet werden soll, wechselt. Wie beim entsprechenden Fall des Knorpels, ist es noch immer eine Streitfrage, welche Rolle die Zellen bei der Bildung der Matrix spielen. Wie die Entwickelung des Gewebes fortschreitet, vermehren sich die Zellen durch Teilung und nehmen ihre charakteristischen, abgeflachten, unregelmäfsigen Formen an, indem sie sich den collagenen Faserbündeln anpassen oder vielmehr zwischen ihnen zusammengedrückt werden.

25. Knochen- und Zahngewebe. Die Masse, aus welcher Knochen und Zähne bestehen, zeigt auf den ersten Blick wenig Ähnlichkeit mit der Knorpelsubstanz und dem Bindegewebe: trotzdem sind alle drei in Wahrheit nah verwandte Bildungen.

Ein frischer, langer Knochen, beispielsweise der Oberschenkel eines Kaninchens, von welchem die angehefteten Muskeln, Sehnen und Bänder vorsichtig entfernt worden sind, dessen Oberfläche aber sonst weder durch Schaben noch auf andere Art verletzt worden ist, bietet ein ausgezeichnetes Objekt für die Untersuchung des Knochenbaues. Derselbe ist ein harter, dichter Körper, innerhalb enger Grenzen biegsam und sehr elastisch, der jedoch bei stärkerem Druck mit einer scharfkantigen Bruchfläche zerbricht. Die beiden Gelenkenden sind mit einem Knorpellager überzogen, welches in der Mitte am dicksten ist. Wo dieser Knorpel an seinen Rändern dünner wird, beginnt eine Lage gefäfsführenden Bindegewebes, welches den ganzen Schaft überzieht und an dessen Oberfläche fest anhaftet; dies ist die Beinhaut, das Periost. Lässt man den Knochen längere Zeit in Wasser liegen, so kann man das Periost mit einer Zange in Fetzen abziehen. Von ihrer inneren Oberfläche ziehen sich Fäden ins Innere des Knochens hinein. Bricht man den Schaft mitten durch, so findet man in seinem Inneren die Markhöhle, angefüllt mit einer rötlichen, sehr gefäfsreichen Masse von

Bindegewebe, welches reichlich Fettzellen enthält und welches Marksubstanz genannt wird. Ein Längsschnitt lehrt uns, dass diese Markhöhle sich durch die ganze Länge des Knochens erstreckt, in den Gelenkenden aber durch knöcherne Abteilungen unterbrochen und in eine Anzahl kleinerer Höhlungen zerlegt wird, ähnlich dem Maschenwerk im Bindegewebe. Jene Hohlräume werden als Lakunen bezeichnet, und man spricht deshalb von der lakunären Struktur der Knochenenden. Die Wandungen der Markhöhle im Schaftteil sind aufserordentlich dicht, zeigen keine Lakunen und scheinen auf den ersten Blick durchaus gleichartig zu sein. Untersucht man sie aber genauer mit Vergröfserungsgläsern, so zeigt sich, dass sie von einem Netzwerk feiner Kanälchen durchsetzt sind, deren Durchmesser von 20 bis 100 μ und mehr schwankt. Die Maschen sind gestreckt, ihr längerer Durchmesser liegt in der Richtung parallel der Axe des Schaftes. Die Kanäle werden Havers'sche Kanäle genannt; sie stehen durch kurze Verbindungsröhrchen einerseits mit der periostalen, andererseits mit der Markoberfläche der Knochenwandung in Verbindung. Im frischen Knochen kann man dünne, gefäfsführende Fortsetzungen des Periosts und der Marksubstanz in diese Verbindungsröhren hineinverfolgen und sehen, dass sie mit dem gleichfalls gefäfshaltigen Inhalt der Havers'schen Kanäle zusammenhängen. Aufserdem findet man an einer Stelle des Schaftes einen weiteren Kanal, durch welchen ein Blutgefäfs zur Versorgung der Markhöhle hindurchtritt. Die Öffnung dieses Kanals auf der Oberfläche des Knochens wird als foramen nutritivum, Ernährungsloch, bezeichnet. An den beiden Enden des Knochens gehen die Havers'schen Kanäle in die Lakunen über, und die gefäfshaltige Substanz, welche in diesen enthalten ist, stellt so eine weitere Verbindung des gefäfsführenden Inhaltes der Havers'schen Kanäle mit dem Knochenmark her.

Demnach können wir den Knochen auffassen als zusammengesetzt aus folgenden Teilen: a) einem inneren dicken Cylinder des gefäfsreichen Knochenmarkes; b) einer äufseren, dünnen, hohlen Scheide (dem gleichfalls gefäfsführenden Periost), welche an ihren beiden Enden durch je eine Platte des Gelenkknorpels vervollständigt wird; c) einem feinen, regelmäfsigen, langmaschigen Netzwerk von Gefäfsen, welches die Mantelfläche des Mark-

cylinders mit der Periostscheide des Schaftes verbindet; d) einem groben gefäßführenden Maschenwerk, welches an jedem Ende den Raum zwischen dem Markcylinder und der Knorpelplatte ausfüllt und zusammenhängt mit dem Periost, welches die Seitenflächen der Gelenkenden überzieht; endlich e) dem harten, eigentlichen Knochengewebe, welches die Maschenräume zwischen diesen beiden Netzen ausfüllt. Derart ist der Bau aller langen Knochen mit überknorpelten Enden; doch besitzen einige, z. B. die Rippen, keine weite Markhöhle, sondern sind in ihrem Innern einfach mit Lakunen versehen. In einzelnen sehr kleinen Knochen fehlen selbst diese. Es giebt aber auch Knochen, welche gar nicht mit Knorpeln verbunden sind.

26. Wird ein Knochen in einem geschlossenen Gefäß eine Zeitlang der Rotgluthitze ausgesetzt, so bleibt von ihm nur eine Masse von weißer „Knochenerde“ zurück, von der ungefähren Form des Knochens, aber so mürbe, dass sie leicht zu Pulver zerfällt. Dieselbe besteht fast ganz aus Calciumphosphaten und Calciumkarbonat. Wird dagegen ein Knochen längere Zeit in verdünnter Salzsäure digeriert, so werden die Kalksalze gelöst und es bleibt eine weiche, biegsame Masse zurück, welche genau die Form des ursprünglichen Knochens hat, aber viel leichter ist. Kocht man diese lange Zeit in Wasser, so liefert sie viel Leim und es bleibt nur ein geringer Rückstand übrig. Knochengewebe besteht also im wesentlichen aus einer organischen Masse, welche mit Kalksalzen imprägniert ist, und die organische Masse ist wie das Bindegewebe, collagen oder leimgebend, nicht chondrigen, wie der Knorpel.

27. Ein hinreichend dünner Längsschnitt, wie man ihn erhält, wenn man etwas von der Wand der Markhöhle eines Knochens abschabt, längere Zeit in Wasser maceriert und dann gut trocknet, zeigt bei mikroskopischer Untersuchung mit schwacher Vergrößerung in durchfallendem Licht eine Reihe von Linien, von Stelle zu Stelle durch dunkle Erweiterungen unterbrochen, welche parallel den Havers'schen Kanälen verlaufen. Betrachtet man in gleicher Weise einen senkrecht zur Längsaxe des Schaftes gelegten Schnitt, welcher den größten Teil der Havers'schen Kanälchen senkrecht durchschneidet, so sieht man statt dessen ein System ähnlicher Linien, von dunklen Flecken unterbrochen, welche in regelmäßigen Abständen die

HAVERS'schen Kanälchen in konzentrischen Kreisen umfassen (Fig. 99). Das harte Knochengewebe erscheint also als zusammengesetzt aus Schichten, welche konzentrisch um die HAVERS'schen Kanäle angeordnet sind. Ein jedes solches Kanälchen mit den zu ihm gehörigen Schichten bildet ein sogenanntes HAVERS'sches System. Die weiche Substanz des Knochens, welche nach Extraktion der Kalksalze zurückbleibt, zeigt diese Systeme ebenfalls, und hier und da sieht man Fasern, welche man bis in die faserige Masse des Periosts verfolgen kann.

Betrachtet man einen dünnen Schnitt eines trockenen Knochens bei stärkerer Vergröſserung (Fig. 100) im durchfallenden Licht, so erscheint jeder dunkle Fleck als ein schwarzer Körper von einem ungefähren Durchmesser von 15 μ mit unregelmäſsigem, gezacktem Kontur, von welchem feine schwarze Linien ausgehen, welche sich in der umgebenden Matrix verzweigen und mit den entsprechenden Linien, die von benachbarten schwarzen Körpern ausgehen, vereinigen. Die Matrix selbst hat ein etwas körniges Aussehen. Auf Querschnitten erscheinen diese dunklen Körper rund oder elliptisch, auf Längsschnitten dagegen nahezu spindelförmig. Daraus geht hervor, dass sie die Form von Linsen haben, aber durch die Lagen der Matrix, zwischen denen sie sich befinden, abgeplattet sind. In auffallendem Licht betrachtet sehen dieselben Körper weiſs und glänzend aus. Und wenn man die Schnitte nicht in trocknem Zustande untersucht, sondern nachdem man sie in Wasser gekocht oder in starkem Alkohol sich hat vollsaugen lassen, dann sieht man von den Körpern und den von ihnen ausgehenden Linien fast nichts, höchstens nur schwache Umrisse. Dabei sind aber feine Luftbläschen aus dem Schnitt entwichen. Die schwarzen Körper, welche man im trocknen Knochen sieht, sind nämlich in Wahrheit Lücken oder Hohlräume in der Matrix, welche dunkel aussehen in durchfallendem Licht und hell in auffallendem, weil sie mit Luft gefüllt sind, und die dunklen, verzweigten Linien sind gleicher Weise feine Röhrchen oder Kanälchen (*canaliculi*), welche in der Matrix ausgespart sind und die einzelnen Hohlräume mit einander verbinden. In jedem HAVERS'schen System hängen die Kanälchen und Lücken der innersten Lage, d. h. derjenigen, welche dem HAVERS'schen Kanal am nächsten ist, mit letzterem zusammen, während die Kanälchen und Lücken

der äufsersten Schicht eines solchen Systems nur mit denjenigen der nach innen nächstliegenden Schicht zusammenhängen. Diese Lücken und Kanälchen stellen also ein Netzwerk von Hohlräumen dar, welche jedem HAVERS'schen System allein angehören und in welchem die aus den Blutgefäfsen ausgetretene Ernährungsflüssigkeit in den HAVERS'schen Kanal und aus diesem zu allen Schichten des Systems gelangt.

Ein ganz dünner Schnitt eines vollkommen frischen Knochens zeigt keine dunklen Körper, weil im frischen Knochen die Lücken und Kanälchen keine Luft enthalten, sondern mit der Ernährungsflüssigkeit erfüllt sind. Überdies liegt in jeder Lücke, wenigstens bei jungen Knochen, eine kernhaltige Zelle, welche im wesentlichen übereinstimmt mit einem Bindegewebs- oder Knorpelkörperchen und die man füglich ein „Knochenkörperchen" nennen könnte, wenn nicht der Ausdruck unglücklicherweise anderweitig in falscher Weise benutzt worden wäre. In Wahrheit nämlich ist der Bau des Knochens folgender: gleich dem Bindegewebe und dem Knorpel stellt er ein Gewebe dar, dessen Zellen durch viel Zwischensubstanz weit voneinander getrennt liegen; doch unterscheidet er sich von diesen durch den Umstand, dass Kalksalze in die Zwischenzellsubstanz eingelagert und mit derselben derart verbunden sind, dass sehr enge unverkalkte Gänge (die Kanälchen) in ihr frei von

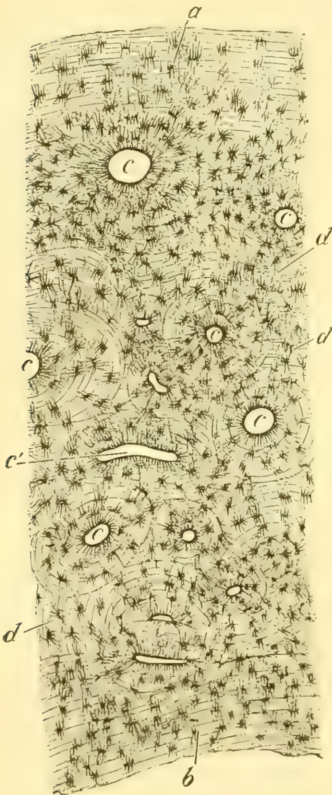


Fig. 99.

Querschnitt durch die kompakte Knochensubstanz. *a* Schichten, welche der äufseren Knochenoberfläche parallel verlaufen; *b* Schichten, welche der inneren (Mark-) Oberfläche parallel verlaufen; *c* Querschnitt durch Havers'sche Kanäle; *c'* ebensolcher Querschnitt an einer Stelle, wo der Kanal sich gerade in zwei spaltet; *d* Schichten der einzelnen Systeme. Schwache Vergröfserung.

Kalksubstanz bleiben, welche in die gröfseren unverkalkten Hohlräume oder Lücken in der Umgebung der Zellen einmünden.

Die Bedeutung dieser Gänge liegt zweifellos darin, dass sie eine vollkommenere Durchtränkung des verkalkten Gewebes mit Ernährungsflüssigkeit ermöglichen, als es der Fall wäre, wenn die Kalkablagerung ganz ununterbrochen vorhanden wäre. Und es ist wahrscheinlich, dass in einem gewöhnlichen Knochen kein Teilchen von 1 μ im Quadrat vorhanden ist, welche nicht auf die beschriebene Art innerhalb des Bereiches eines kleinen Strömchens der Ernährungsflüssigkeit läge.

28. Diese Umstände machen es verständlich, was beim Anblick eines Knochens kaum vermutet werden dürfte, dass während des Lebens oder doch wenigstens sicher im jugendlichen Leben das Knochengewebe der Sitz aufserordentlich lebhafter Lebensvorgänge ist. Die scheinbare Beständigkeit und Unveränderlichkeit des Knochens sind in Wahrheit nichts als die algebraische Summe der entgegengesetzten Vorgänge fortwährender Zerstörung und Wiederherstellung des Gewebes.

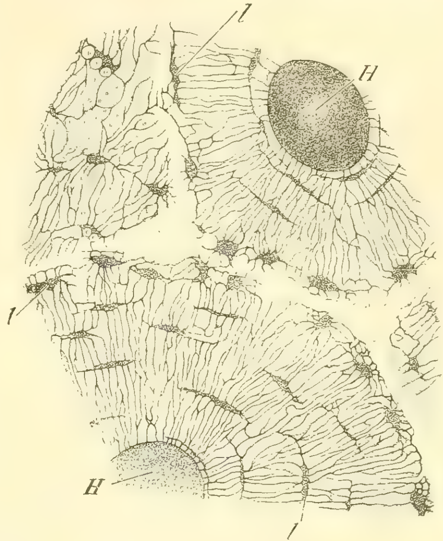


Fig. 100.

Querschnitt durch einen Knochen. Starke Vergröfserung (300 mal). *H* Havers'sche Kanäle; *l* Hohlräume mit Kanälchen.

Füttert man ein junges Schwein mit Krapp, so werden seine Knochen nach einiger Zeit rot gefärbt. Der Krappfarbstoff tritt ins Blut über und färbt fortwährend das Gewebe, mit welchem er während seines Strömens durch die Knochen in Berührung kommt. Wenn man aber die Krappfütterung nach einiger Zeit wieder unterbricht, so hängt die Menge des Farbstoffes, welche man in den Knochen vorfindet, ganz von der Zeit ab, welche nach dem Aufhören der Krappfütterung bis zum Schlachten des Tieres verstrichen ist. Und dies rührt nicht

etwa davon her, dass der Farbstoff gleichsam ausgewaschen wird; die Färbung ist beständig, aber trotzdem werden die Knochen teilweise entfärbt. In dem Schaft eines langen Knochens z. B. findet man zu einer gewissen Zeit nach der Krappfütterung eine tiefrote Lage von Knochen in der Mitte der Wandstärke, begrenzt von zwei ungefärbten Schichten an der Markseite und an der Periostseite. Und je längere Zeit nach der Krappfütterung verstrichen ist, desto mehr von dem tiefrotgefärbten Knochen wird durch ungefärbten Knochen ersetzt und bedeckt sein.

Schon die genauere Betrachtung eines Querschnittes der Knochenwand des Schaftes eines langen Knochens giebt für sich allein genügende Anhaltspunkte, um zu erkennen, dass fortwährend Knochen neugebildet und ebenso fortwährend entfernt wird. Man sieht auf einem solchen Querschnitt, wie schon gesagt wurde, eine Anzahl Havers'scher Kanäle, umgeben von kreisförmigen, aus konzentrischen Knochenlagen gebildeten Schichten. Aber zerstreut zwischen diesen liegen gröfsere oder kleinere Abschnitte von in ähnlicher Weise konzentrisch angeordneten Schichten, die sogenannten Zwischensystem-Lamellen (Fig. 99, d), welche offenbar früher Teile von Havers'schen Systemen gewesen sind, welche nachträglich zum Teil zerstört und durch neue Systeme ersetzt worden sind. In der That findet die Bildung neuen Knochens fortwährend statt: a) an der Oberfläche, welche dem Periost anliegt; b) an der Oberfläche, welche dem Knorpel anliegt; c) an der Oberfläche, welche dem Mark anliegt, und an deren Fortsetzungen in den Zwischenräumen der Bälkchen und den Havers'schen Kanälen. Aber der so gebildete Knochen wird nach einiger Zeit immer wieder zerstört und durch neugewachsenen ersetzt.

29. Um diesen Vorgang zu verstehen, müssen wir das erste Entstehen des Knochengewebes untersuchen. In einer gewissen Periode des embryonalen Lebens findet sich kein Knochen im ganzen Körper. Trotzdem ist der gröfsere Teil der späteren Knochen, z. B. die Wirbel, die Rippen, die Knochen der Gliedmafsen, ein Teil der Schädel- und Gesichtsknochen, in einem morphologischen Sinne schon vorhanden insofern, als an den Stellen, wo später die betreffenden Knochen liegen sollen, Knorpel vorhanden sind, welche im grofsen und ganzen die Formen der

späteren Knochen haben. An Stelle des Oberarm- oder des Oberschenkelknochens beispielsweise findet man Stäbchen von reinem Knorpel, welche sozusagen verkleinerte rohe Modelle der betreffenden Knochen des Erwachsenen sind. Wenn der Vorgang der Verknöcherung beginnt, so treten zunächst zarte, undurchsichtige Flecke in der Substanz des Knorpels auf, die sogenannten Verknöcherungs- oder Ossifikationspunkte. Ihre Undurchsichtigkeit rührt von der Einlagerung von Kalksalzen in den Knorpel an diesen Stellen her.

Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass diese Einlagerung in der Intercellularsubstanz stattfindet; es entsteht so eine Art von falschem Knochen, dessen Lakunen durch die Hohlräume der Knorpelkörperchen dargestellt werden. Die Kalksalze können zu den Ossifikationspunkten nur gelangen, indem sie in dem Plasma gelöst sind, welches aus den Gefäfsen des Perichondriums ausschwitzt und die Intercellularsubstanz durchtränkt.

In dem knorpeligen Vorläufer eines langen Knochens treten in der Regel drei solche Ossifikationspunkte auf, einer in der Mitte des Schaftes und je einer an jedem Ende. Nehmen wir an, die drei Ossifikationspunkte seien zu gleicher Zeit aufgetreten (was nicht gerade immer der Fall sein mag), so hätten wir als Ausgangspunkt unserer weiteren Betrachtungen ein an drei Stellen verkalktes, knorpeliges Modell des zukünftigen Knochens, an welchem wir einen mittleren Knoten (die Diaphyse) und zwei an den Enden (die Epiphysen) unterscheiden können. Wenn die Kalkablagerung sich ausbreiten würde bis zur Vereinigung der drei Knoten, so würde daraus ein verkalkter Knorpel an Stelle des ursprünglichen Bildungsknorpels entstehen.

Nun breitet sich in der That die Kalkablagerung aus von den Ossifikationspunkten nach aufsen, so lange als der Knochen wächst. Aber in gleichem Masse mit dem allgemeinen Wachstum des Knochens geht auch im Knorpel zwischen der Epiphyse und den Diaphysen und an den Enden der Epiphysen das Wachstum fort. Der Knorpel an den Epiphysenenden bleibt als Gelenkknorpel während des ganzen Lebens bestehen, während jener zwischen der Epiphysen- und den Diaphysenverknöcherungen allmählich eingeengt wird und zuletzt verkümmert.

Aus alledem würde zuletzt ein Knochen entstehen, der nichts

weiter wäre als ein verkalkter Knorpel mit unverkalkten Knorpelbelegen an beiden Enden. Ein solcher verkalkter Knorpel wäre aber durchaus noch kein Knochen. Der ausgewachsene Schenkelknochen z. B. besteht nicht aus verkalktem Knorpel; solcher findet sich nur an den Vereinigungsstellen der Gelenkknorpel mit dem darunter liegenden Knochen, alles andere aber ist echtes Knochengewebe mit den oben beschriebenen Eigentümlichkeiten. Und dieses echte Knochengewebe des Oberschenkelknochens hat einen ganz anderen Ursprung als jener verkalkte Knorpel: denn es wird gebildet durch Verkalkung eines nicht knorpeligen Gewebes, welches sich auf eigentümliche Art aus der Gefäfsschicht jener bindegewebigen Scheide, welche den ursprünglichen Knorpel umhüllt, entwickelt, welche Scheide anfangs Perichondrium genannt wird, dann aber, wenn die Verknöcherung vor sich geht, die Bezeichnung Periost erhält. Dieses perichondriale oder periostale Gewebe bringt in einer etwas verwickelten Weise den verkalkten Knorpel zum Schwinden und ersetzt ihn durch echtes Knochengewebe.

Bald nachdem die Ossifikationspunkte im Knorpel erschienen sind, wachsen nämlich gefäfshaltige Fortsätze vom Perichondrium her in den Knorpel hinein. Diese Fortsätze schaffen sich Raum, indem sie den Knorpel zerstören und zur Auflösung bringen, so dass er grofsen, unregelmäfsigen Hohlräumen Platz macht, welche jene Fortsätze ausfüllen. Sie bestehen aus Blutgefäfsen, welche von einer besonderen Form von Bindegewebe umhüllt sind, ausgezeichnet durch grofse, kernhaltige Zellen, die sogenannten Osteoplasten. Auch das Perichondrium oder Periost, aus welchem diese Fortsätze hervorgehen, hat einen ähnlichen Bau und ist gleichfalls reich an Osteoplasten.

Unmittelbar nachdem die Fortsätze in dem verkalkten Knorpel jene Hohlräume ausgehöhlt haben, fangen sie sofort an, dieselben mit Schichten wahren Knochens zu belegen, indem sich die Matrix des Bindegewebes derart mit Kalksalzen durchsetzt, dass Höhlungen bleiben, in welchen einzelne Zellen oder Osteoplasten eingelagert sind, während feine, verzweigte Kanälchen in der Matrix bleiben oder nachträglich in derselben entstehen. Mit anderen Worten, Schichten wahren Knochens mit Lakunen, in denen kernhaltige Zellen liegen, und mit verzweigten Knochenkanälchen werden gebildet als Wandbekleidung der Hohlräume,

welche in dem verkalkten Knorpel entstanden waren. Doch werden die Hohlräume nicht vollkommen ausgefüllt und es zeigen sich noch keine regelmäfsigen Havers'schen Systeme mit Kanälen und konzentrischen Schichten. Der verkalkte Knorpel ist nur ersetzt durch ein weitmaschiges Netzwerk schwammigen Knochenbalkenwerkes, ungefähr von der Beschaffenheit, wie es in den Überbleibseln des verkalkten Knorpels zu sehen ist. Seine Hohlräume sind angefüllt mit Blutgefäfsen und einem zarten Bindegewebe, d. h. mit Mark.

Inzwischen lagert das Perichondrium oder Periost, während es durch die von ihm ausgehenden Fortsätze den Knorpel in spongiösen aber doch echten Knochen verwandelt, gleichzeitig Schichten eines etwas dichteren, aber doch auch spongiösen Knochens an der Aufsenseite des in der Umwandlung begriffenen Ossifikationszentrums ab in Gestalt eines Cylinders, welcher an Dicke zunimmt durch Ablagerung immer neuer Schichten an seiner Aufsenfläche, unmittelbar unter dem Periost, und an Länge durch Ausdehnung dieser cylindrischen Lagen in der Richtung nach oben und unten. Dieser „periostale“ Knochen ist echter Knochen, in welchem die Ablagerung der Kalksalze in der Matrix rund um die Ostoplasten derart stattfindet, dass Lakunen und Kanälchen freibleiben.

Bald nachdem diese Scheide von periostalem Knochen aufgetreten ist, wird der im verkalkten Knorpel zuerst gebildete spongiöse Knochen durch eben jene Gefäfsfortsätze, welche ihn gebildet haben, wieder resorbiert, so dass bald das ursprüngliche Centrum der Ossifikation, nachdem es aus gewöhnlichem Knorpel in verkalkten Knorpel und dann in spongiösen Knochen verwandelt

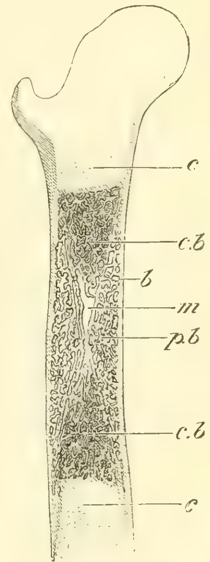


Fig. 101.

Längsschnitt eines ossifizierenden Knochens (Oberschenkel des Hundes). *c* der ursprüngliche Knorpel; *cb* spongiöser Knochen, aus dem Knorpel durch Ossifikation entstanden, bei *m* schon wieder resorbiert und durch Marksubstanz ersetzt; *pb* spongiöser Knochen, welcher vom Periost gebildet ist und sich in dünner Schicht über die Aufsenfläche des Knorpels hin erstreckt. 7 mal vergröfsert.

worden war, zu Mark wird, d. h. in gefäſsreiches Bindegewebe mit viel Fett umgewandelt wird.

Wenn wir unsere Betrachtung auf die Diaphyse beschränken, so können wir sagen, dass der ursprüngliche Oberschenkelknochen in zwei Hälften zerlegt wird durch die Ersetzung des gefäſslosen Knorpels durch gefäſshaltiges Mark. Aber die Knorpel zu beiden Seiten des Markes fahren fort, in der Nähe des letzteren zu wachsen, der Länge wie der Dicke nach, und dabei sich umzuwandeln zuerst in verkalkten Knorpel und dann in spongiösen Knochen.

Die beiden Hälften werden durch den Ring oder Cylinder von Periostalknochen, welchen wir oben beschrieben haben, zusammengehalten; dieser Cylinder wächst der Länge und Dicke nach in dem Masse, als die ursprünglichen Knorpel der beiden Hälften mehr und mehr durch verkalkten Knorpel, spongiösen Knochen und Marksubstanz voneinander getrennt werden. Das Mark nimmt schnell zu, bis die Diaphyse die Form eines Hohlzylinders angenommen hat mit nahe zusammenstehenden dickeren Wandungen in der Mitte und weiter voneinander entfernten, aber dünneren Wänden an den Enden, wodurch etwa die Form eines langen, schmalen Würfelbechers ent-

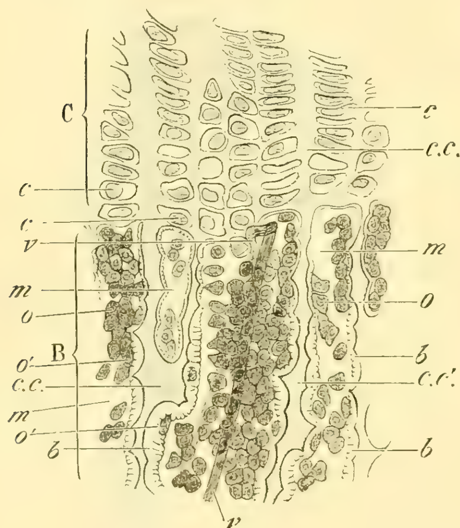


Fig. 102.

Längsschnitt durch ossifizierenden Knorpel. C. Knorpelregion; B. Knochenregion.

In C sieht man die Knorpelzellen *c* in ihren Hohlräumen und zwischen ihnen, in Form von Säulen angeordnet, die verkalkte Matrix *CC*.

In B sieht man die langen, unregelmäſsigen Markhohlräume *m*, in ihnen die Osteoplasten *o* und in einem ein Blutgefäſs *v*. Die Hohlräume sind mit echtem Knochen, *b*, umkleidet, in welchem die gezackten Knochenkörperchen und Kanälchen sichtbar sind. Bei *cc'* sieht man Überreste des verkalkten Knorpels, zu beiden Seiten von echtem Knochen eingefaſst.

steht (Fig. 101). Die Mitte des Cylinders wird von Marksubstanz allein eingenommen, die Enden aber sind gleichsam verstopft durch Knorpelscheiben, welche im Begriff sind, sich in verkalkten Knorpel, sodann in spongiösen Knochen und zuletzt in Marksubstanz umzuwandeln.

An einem senkrecht zur Oberfläche einer solchen Knorpelscheibe geführten Schnitt können wir verfolgen, wie diese Verwandlung vor sich geht (vgl. Fig. 102).

In der Nähe der äufseren Fläche sind die Knorpelzellen in schneller Vermehrung begriffen und ordnen sich in Reihen parallel zur Längsaxe des Knochens, mithin senkrecht zur Oberfläche der verkalkten Knorpelzone. Zwischen diesen Säulen bildet die verkalkte Intercellularsubstanz Abteilungen der Art, dass die Zellsäulen in tiefen, honigwabenartigen Kammern mit verkalkten Wandungen liegen.

Weiter unten erscheinen diese Kammern durchbrochen von gefäfshaltigen Fortsätzen des Markes und in weitere unregelmäfsige Kammern verwandelt, deren Wandungen von echtem Knochen mit Knochenlakunen und Knochenkanälchen umkleidet sind. Noch tiefer sieht man, dass die Wände dieser neuen Kammern wieder resorbiert sind, bis nur noch Mark allein übrig bleibt.

In dem Masse, als der sich entwickelnde Knochen wächst, rücken die Knorpelscheiben immer weiter auseinander und der Markraum wird länger, bis die beiden Enden der Diaphyse mit den Epiphysen zusammenstofsen und zusammenwachsen. Die ganze Scheibe wird somit zu spongiösem Knochen, der mit dem spongiösen aus der Epiphyse entstandenen Knochen zusammenstöfst, während von dem verkalkten Knorpel nichts zurückgeblieben ist als eine äufserst dünne Schicht gerade unter den Gelenkknorpeln an beiden Knochenenden.

Der ursprüngliche Knorpel dient demnach zwar als Modell für den zukünftigen Knochen; aber der gröfsere Teil des letzteren, nämlich der dichte Knochen, welcher den Schaft bildet und sich wie eine Schale über die beiden Enden hin fortsetzt, stammt nicht vom Knorpel her, sondern wird vom Periost abgelagert. Die schwammige Knochensubstanz an den beiden Enden allein ist es, welche im Knorpel gebildet wird, und selbst in dieser bleiben, wie wir gesehen haben, keine Überreste vom Knorpel selbst zurück.

Auch dieser so gebildete Knochen ist noch fortwährendem Wechsel unterworfen. Der Periostalknochen ist anfangs schwammig und von wenig dichtem Bau und besitzt keine echten Havers'schen Systeme. Nach und nach werden Hohlräume in ihm ausgehöhlt durch Gefäfsfortsätze des Periosts an der Aufsenseite und der Marksubstanz an der Innenseite, gleich denen, aus welchen er gebildet wurde. Und wenn ein solcher Hohlraum entstanden ist, so wird er wiederum mit fester Masse ausgefüllt durch Schichten von Knochensubstanz, welche in regelmäfsiger Anordnung als konzentrische Lamellen rund um das Blutgefäfs des Fortsatzes abgelagert werden. Hierdurch entsteht dann ein Havers'sches System mit einem Blutgefäfs in der Mitte. Und diese fortwährende Aufsaugung und Neubildung von Knochensubstanz geht sicherlich fortwährend vor sich, so lange der Knochen wächst und wahrscheinlich noch lange Zeit nachher.

Es giebt auch zahlreiche Knochen, z. B. das Stirnbein und die Scheitelbeine des Schädels, welche nicht knorpelig vorgebildet sind. Das Schädeldach eines Embryos besteht aus Bindegewebe, und die Verknöcherung beginnt damit, dass an dem ursprünglichen Ossifikationspunkt, d. h. dem Mittelpunkt des zukünftigen Knochens, Kalksalze abgelagert werden. Diese Verkalkung breitet sich dann von jenem Punkte nach allen Richtungen aus, so dass bald eine dünne Platte entsteht, welche an ihrem Rande gleichsam in Fäden ausläuft. Das gefäfshaltige Bindegewebe, welches die Platte überzieht, wird zum Periost und spielt in bezug auf den wachsenden Knochen dieselbe Rolle, wie das Periost des Knorpelknochens in bezug auf diesen. Während die Platte durch Wachstum dicker wird, bohren sich Markfortsätze in dieselbe ein und geben Anlass zur Bildung von Lakunen und Havers'schen Systemen.

30. Zahngewebe. Eine Beschreibung der allgemeinen Eigenschaften der Zähne haben wir in Vorl. VI, § 15 gegeben. Jeder Zahn hat eine Krone, welche in der Mundhöhle sichtbar ist, wo sie durch Reibung an dem gegenüberstehenden Zahn und an den Speisen abgenutzt wird, und eine oder mehrere Wurzeln, welche in einer Höhlung des Kieferbeines, der Alveole, und der Dermis oder dichten Schleimhaut des Mundes, dem Zahnfleisch, stecken. Die Grenzlinie zwischen Zahnkrone und Zahnwurzel heifst der Zahnhals. Im Innern des Zahnes

ist eine Höhle, welche mit dem Äufseren durch Kanälchen zusammenhängt; letztere durchsetzen die Wurzeln und endigen an deren Spitzen. Jene Höhle wird ganz ausgefüllt von einem sehr gefäfs- und nervenreichen Gewebe, der Zahnpulpa, welche nach unten durch die Öffnungen der Wurzeln mit dem gefäfsreichen Teil des Zahnfleisches, welcher zwischen den Wurzeln und der Wandung der Alveolen liegt und die Rolle des Periosts für den Zahn spielt, zusammenhängt.

31. Dasjenige Gewebe, welches den Hauptbestandteil des Zahnes bildet, wird Zahnbein oder Dentin genannt (Fig. 103, A, B, d). Es ist eine sehr dichte verkalkte Masse, welche weniger organische Stoffe enthält als Knochen, sich von diesem auch durch das Fehlen der Lakunen und Kanälchen unterscheidet. Statt der letzteren zeigt es zahlreiche enge, parallele, wellige Röhrchen (Fig. 104, d), welche Seitenzweige abgeben. Die weiteren, inneren Enden dieser Röhrchen mögen etwa 4—5 μ messen. Sie münden in die Pulpahöhle ein, während die engeren, äufseren Endungen sich auf der Oberfläche des Dentins verzweigen und sogar bis in den Schmelz oder das Cement hineinreichen können (Fig. 104).

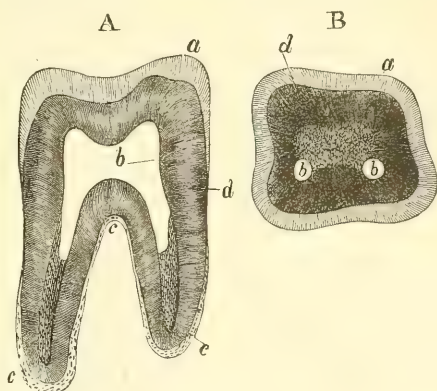


Fig. 103.

A. **Senkrechter,** B. **wagerechter Schnitt durch einen Zahn.** *a* Schmelz der Krone; *b* Pulpahöhle; *c* Cement der Wurzeln; *d* Dentin. Vergröfserung ungefähr 3 mal.

Der gröfsere Teil der Krone und fast die ganze Wurzel bestehen aus Dentin. Die Oberfläche der Krone aber ist bekleidet mit einem noch viel dichteren Gewebe, welches nur 2 % organischer Stoffe enthält und fast steinhart ist. Es wird Zahnschmelz genannt (Fig. 103, A, B, a); es wird an den Seitenflächen der Krone dünner und verliert sich allmählich in der Gegend des Zahnhalses. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, dass es aus sechsseitigen, prismatischen Fasern besteht (Fig. 104, A, B),

welche dicht nebeneinander, Seite an Seite, liegen, nahezu im rechten Winkel zur Oberfläche des Dentins. Diese Fasern haben nicht mehr als 3—5 μ Dicke und zeigen eine Querstreifung.

Das dritte Gewebe, welches man am Zahn findet, das sogenannte Cement (Fig. 104, C), ist eine dünne Lage echten Knochens, gewöhnlich ohne HAVERS'sche Kanäle, welche die äufsere Fläche der Wurzeln überzieht und sich nach dem Zahnhals zu verdünnt.

Die Zahnpulpa besteht hauptsächlich aus zartem Bindegewebe. Sie ist reichlich mit Blutgefäfsen und Nerven versehen, welche in sie durch die kleinen Öffnungen an den Enden der Wurzeln hineingelangen. Die Nerven sind sensible Zweige des fünften Hirnnerven oder Trigeminus.

Die Oberflächenschicht der Pulpa, welche überall der Innenfläche des Dentins dicht anliegt, besteht aus einem Lager kernhaltiger Zellen, welche so dicht aneinander liegen, dass sie fast einem Epithel gleichen. Sie sind aber in Wahrheit Bindegewebszellen und die Schicht stellt nur eine wenig abgeänderte Form jener Lage von Bindegewebe dar, wie man sie an der Oberfläche einer jeden Dermis findet.

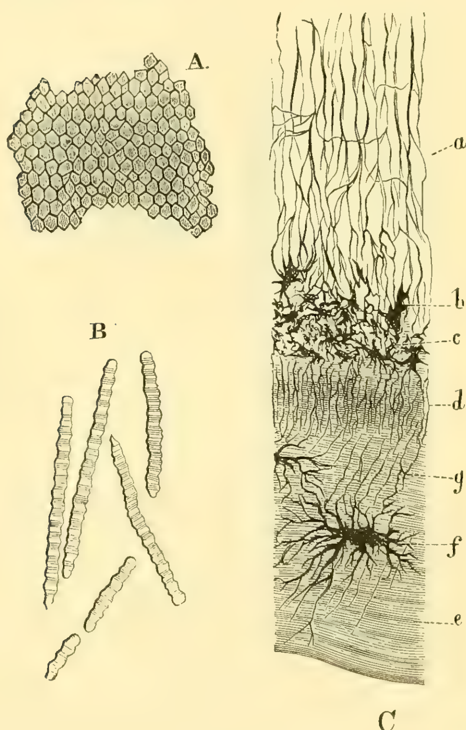


Fig. 104.

A. **Schmelzfasern,** im Querschnitt gesehen.

B. **Schmelzfasern,** getrennt, von der Seite gesehen.

C. **Schnitt durch einen Zahn** an der Verbindungsstelle von Dentin (*a*) und Cement (*e*); *b*,*c* unregelmäfsige Hohlräume, in welchen die Röhrchen des Dentins endigen; *d* feine Röhrchen, welche von jenen ausgehen; *f*,*g* Lakunen und Kanälchen des Cements. (Vergröfserung ungefähr 400 mal).

Man kann sie mit den Osteoplasten des wachsenden Knochens vergleichen, und lange, fadenförmige Fortsätze können von ihnen aus in die Dentinröhrchen hinein verfolgt werden.

32. Die Entwickelung der Zähne beginnt lange vor der Geburt, zu einer Zeit, in welcher die Kieferknochen noch in einem sehr rudimentären Zustand sich befinden. Die tiefe Schicht des Epithels, welches die freie Oberfläche des Zahnfleisches überzieht, verdickt sich zu einer Leiste und drückt so in die anliegende Fläche der Dermis eine Rinne ein, während die Ränder der Rinne zu zwei seitlichen Leisten emporwachsen. Hierdurch entsteht in der Dermis jedes Kiefers eine halbkreisförmige Grube, die Zahngrube, welche aber, wie man wohl bemerken muss, ganz von dem verdickten Epithel ausgefüllt wird, das glatt von einem Rand zum andern hinüberzieht. Nun wird jede Grube, die im Ober- und die im Unterkiefer, in je zehn Grübchen oder Taschen abgeteilt, je fünf an jeder Seite von der Mittellinie, und hinter der fünften jeder Seite bleibt ein Überrest der Grube, welche wir die rückständige Tasche nennen wollen.

Jede der erwähnten Taschen wird allmählich immer mehr von ihren Nachbarn abgetrennt, bis zuletzt ihre Wandungen zusammenwachsen und den innerhalb derselben gelegenen Teil des Epithels ganz von der Mundhöhle abschließen. So entsteht ein geschlossenes, mit Epithel gefülltes Säckchen, ein Milchzahn-Sack. Inzwischen ist die Dermis am Boden des Sackes in Form eines kegelförmigen Fortsatzes in das Innere des Epithelhäufchens hineingewachsen. Diese so entstandene Zahnpapille ist die erste Anlage des zukünftigen Zahnes. Man sieht, dass das Epithel des Sackes jetzt die Form einer dicken Kappe angenommen hat, deren konvexe Oberfläche den Wandungen des Sackes anliegt, während ihre Konkavität genau der Oberfläche der Papille entspricht.

Während sich so der Milchzahnsack ausbildet, wächst sein Epithel an einer Seite zu einem kleinen Fortsatz aus, welcher allmählich an Gröfse zunimmt und die Beschaffenheit eines zweiten Zahnsackes annimmt. Und dies ist der Sack des dauernden Zahnes, welcher einem jeden Milchzahn entsprechend angelegt wird und später an die Stelle des letzteren tritt.

Ähnliche Veränderungen gehen in den rückständigen Taschen vor sich, deren jede nach und nach in drei Säckchen abgeteilt

wird für die drei hintersten dauernden Zähne eines jeden Kiefers.

Die Säckchen der Milchzähne wachsen schnell an Gröfse und werden voneinander getrennt durch knöcherne Scheidewände, welche von dem Kieferknochen, zu dem sie gehören, sich entwickeln und rund um die Säckchen emporwachsen. So kommt es, dass die Säckchen in knöchernen Alveolen liegen.

Die Papille wird gefäfshaltig, und die Zellen, aus denen sie ursprünglich besteht, entwickeln in ihrem innern Teil Bindegewebe. An der Oberfläche dagegen behalten die Zellen ihren embryonalen Charakter, nur dass sie sich in der Richtung senkrecht zur Oberfläche etwas verlängern. Diese Zellen, welche Odontoplasten genannt werden, sind von den ihnen sehr ähnlichen Zellen der epithelialen Kappe durch eine zarte, strukturlose Grundmembran getrennt. Die Epithelkappe wird jetzt das Schmelzorgan genannt. Dasselbe besteht: a) aus einer Lage etwas verlängerter, dichtgedrängter Zellen, welche auf der die Papille überziehenden Grundmembran festsitzen, dem Papillenepithel; b) einer Lage weniger verlängerter Zellen, welche dichtgedrängt sitzen und fest an der Wand des Sackes haften, dem Wandepithel, welches an der Basis der Papille mit dem Papillenepithel zusammenstöfst; c) dem zwischen beiden gelegenen Zwischenepithel, welches aus locker aneinanderhängenden, mehr oder weniger sternförmigen Zellen besteht.

Die eigentliche Zahnsubstanz tritt zuerst auf als eine sehr dünne Kappe von glasheller kalkiger Ablagerung an der Spitze der Papille, zwischen der Lage von Odontoplasten und dem Papillenepithel. Diese Kappe dehnt sich nach und nach über die ganze Oberfläche der Papille aus (welche inzwischen die Form des zukünftigen Zahnes angenommen hat) und wächst in der Dicke von der Spitze nach der Basis zu, so dass der Teil des Zahnes, welcher zuerst gebildet wurde, erhalten bleibt und die neue Zahnsubstanz nur an der Papillarfläche und an ihren basalen Rändern hinzugefügt werden kann. Infolgedessen kann das Wachsen des Zahnes nur stattfinden unter gleichzeitiger Verkleinerung der Papille, welche zuletzt als Zahnpulpa im Innern des fertigen Zahnes zurückbleibt. Im Bereich der Krone ist die zuerst abgelagerte Kalkmasse sehr dicht und nimmt prismatische Struktur an; aber in den tieferen Lagen bleiben bei

der Kalkablagerung enge Zwischenräume frei, welche die Dentinkanälchen werden. Die Substanz der Pulpa hat zu den Dentinkanälchen dieselbe Beziehung wie die Substanz des ossifizierenden Periosts 'oder Markes zu den Knochenkanälchen. Eine Schicht von Odontoplasten bleibt erhalten als die in § 31 erwähnte Zellenschicht an der Oberfläche der Pulpa, und die Pulpahöhle kann angesehen werden als eine riesige Knochenlücke, in welcher viele tausende von Zellen liegen statt einer einzigen.

Über den Ursprung des Dentins kann kein Zweifel bestehen. Es muss aber erwähnt werden, dass nach der Ansicht vieler Forscher die Schmelzfasern nicht, wie wir es dargestellt haben, aus der Verkalkung der Papille hervorgehen, sondern aus der Verkalkung des Papillenepithels.

33. Die vollkommen entwickelten Milchzähne üben auf die oberen Wände der Säcke, in welchen sie eingeschlossen sind, einen Druck aus, verursachen dadurch eine mehr oder weniger vollständige Resorption derselben und bahnen sich so einen Weg nach aufsen. Man sagt dann, die Zähne schneiden durch.

Das Durchschneiden der ersten Schicht der Milchzähne oder, wie sie auch genannt werden, hinfälligen Zähne *(dentes deciduae)* beginnt etwa im sechsten Monat und endet mit dem zweiten Lebensjahr. Es giebt deren im ganzen zwanzig, acht Schneidezähne *(incisores)*, vier Augen- oder Hundszähne *(caninae)* und acht Mahlzähne *(molares)*.

Wie wir gesagt haben, giebt jeder Milchzahnsack gleich nach seiner Bildung einen kleinen Fortsatz ab, welcher in dem Kiefer unterhalb des Milchzahnes liegt, wächst und eine Papille bildet, aus welcher ein neuer Zahn entsteht. Wie der letztere heranwächst, übt er auf die Wurzel des Milchzahnes, der ihm entspricht, einen Druck aus, veranlasst dadurch die allmähliche Resorption dieser Wurzel und damit das Ausfallen des Milchzahnes oder das Schichten der Zähne, wobei der neue Zahn die Stelle seines Vorgängers einnimmt. So wird jeder Milchzahn durch einen anderen, den bleibenden Zahn, ersetzt. Die bleibenden Schneide- und Hundszähne sind gröfser als die Milchzähne gleichen Namens, unterscheiden sich aber sonst wenig von diesen. Die dauernden Zähne, welche an die Stelle der Milchmahlzähne treten, sind klein und ihre Kronen haben nur zwei

Kuppen; man nennt sie deshalb zweispitzig. Sie haben niemals mehr als zwei Wurzeln.

Wir haben bis jetzt Rechenschaft gegeben von zwanzig Zähnen des Erwachsenen. Aber in dem ausgebildeten Gebiss des letzteren giebt es deren zweiunddreifsig, indem noch zwölf Mahlzähne zu denjenigen zwanzig Zähnen hinzukommen, welche an die Stelle der Milchzähne treten und diesen vollkommen entsprechen. Diese zwölf dauernden Mahlzähne oder hinteren Backenzähne entwickeln sich in den Säckchen, welche aus den schon erwähnten rückständigen Taschen entstehen. Sie haben vier oder fünf Kuppen auf der quadratischen Oberfläche ihrer Kronen und im Oberkiefer in der Regel je drei Wurzeln.

Der erste dieser hinteren Mahlzähne, der vorderste Molarzahn jeder Seite, erscheint am frühesten von allen dauernden Zähnen, indem er im Alter von sechs Jahren hervorkommt. Der letzte oder hinterste Molarzahn schneidet auch am spätesten durch, indem er gewöhnlich nicht vor dem Alter von einundzwanzig oder zweiundzwanzig Jahren zum Vorschein kommt. Man nennt ihn deshalb häufig den „Weisheitszahn“.

34. Muskelgewebe (quergestreiftes). Es ist notwendig, sich den Unterschied zwischen einem „Muskel“ als ein Organ und dem „Muskelgewebe“ klar vor Augen zu halten.

Der zweiköpfige Muskel z. B., von welchem in Vorl. VII, § 6, die Rede war, ist ein Organ von zusammengesetztem Charakter, dessen Hauptbestandteile Muskelgewebe ist.

Die einzelnen Bestandteile dieses Organes sind: a) das Perimysium oder die Muskelscheide, eine aus Bindegewebe bestehende Umhüllung des Muskels, von deren inneren Fläche Fortsätze abgehen, welche den ganzen umschlossenen Raum in eine grofse Zahl der Länge des Muskels nach nebeneinander liegender Abteilungen abgrenzen; b) die Muskelfasern, welche in diesen Abteilungen liegen; c) die Gefäfse, welche in der Scheide und den Scheidewänden der Abteilungen liegen und somit die Muskelfasern umspinnen, ohne in sie selbst einzudringen; d) die motorischen Nervenfasern, welche anfangs auch in der Scheide und den Abteilungswänden liegen, aber schliefslich in die Muskelfasern selbst eintreten.

Das Perimysium bildet eine vollständige Umhüllung des ganzen Muskels. Ist es stark genug, um mit dem anatomischen

Messer abgetrennt werden zu können, so nennt man es Fascie. An beiden Enden des Muskels geht das Perimysium in dichtes Bindegewebe (Sehnen) über, welches mit dem Knochen oder Knorpel, an welche sich die Sehnen ansetzen, fest verwachsen ist. Die vom Perimysium nach innen abgehenden Fortsätze bilden zuerst gröfsere Abteilungen, in denen grofse, aus vielen Fasern bestehende Bündel liegen; diese grofsen Bündel sind dann durch feinere bindegewebige Scheidewände, welche von den gröberen abgehen, in kleinere Bündel und diese wieder in noch kleinere abgeteilt und so fort, bis zuletzt die dünnsten Bündel nur aus einer geringeren Zahl von einzelnen Muskelfasern bestehen. So werden die Scheidewände immer dünner und zarter, so dass diejenigen, welche zuletzt die Faserbündel voneinander trennen, nur noch aus soviel Bindegewebe bestehen, als eben notwendig ist, um die kleinen Nerven, Arterien, Venen und Kapillaren zusammenzuhalten. Da das Perimysium aus Bindegewebe besteht, kann es durch langes Kochen in Wasser zerstört werden. Deshalb zerfällt ganz zerkochtes Fleisch in einzelne Fasern; das Perimysium ist aufgelöst und die Muskelfasern, welche durch kochendes Wasser nur wenig angegriffen sind, werden nicht mehr zusammengehalten und fallen auseinander.

Bringt man ein Stück eines Kaninchenmuskels, nachdem man es einige Stunden lang gekocht hat, mit ein wenig Wasser in ein Uhrglas, so kann man die Muskelfasern leicht mit Nadeln voneinander zupfen und trennen. Eine so isolierte Faser hat eine Dicke von zuweilen etwa 60 μ, doch schwankt dieselbe bei verschiedenen Fasern sehr bedeutend, und eine Länge von 30 bis zu 40 mm. Sie stellt eine Art von cylindrischen oder vielkantigen Stäbchen dar, dessen Enden abgerundet sind oder spitz zulaufen, und hängt an diesen Enden entweder mit gleichartigen Fasern zusammen oder, wenn es sich um das Ende einer solchen Stäbchenreihe handelt, mit der Sehne.

Der Bau und die Eigenschaften dieser Fasern sind es, von denen gehandelt wird, wenn man vom Bau der quergestreiften Fasern redet.

35. Die allgemeinen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Muskeln und ihre hauptsächlichsten Lebenseigenschaften sind in Vorl. VII, § 4, mitgeteilt worden. Hier bleibt uns noch übrig von denjenigen Eigenschaften zu

sprechen, welche durch die mikroskopische Untersuchung zu erkennen sind.

Wir haben schon Gelegenheit gehabt zu bemerken, dass alle Gewebe erhebliche Veränderungen erleiden, wenn sie vom lebenden zum toten Zustand übergehen; aber gerade beim Muskel sind diese Veränderungen so beträchtliche, dass der Bau des toten Muskels eine ganz falsche Vorstellung von dem des lebenden gewährt.

Eine lebende quergestreifte Muskelfaser von einem Frosch oder Säugetier ist ein blasses, durchscheinendes Stäbchen, zusammengesetzt aus einer weichen, biegsamen, elastischen Masse, deren seitliche Begrenzungslinien, wenn man die Faser nach der Entnahme aus dem Körper betrachtet, ganz scharfbegrenzt erscheint, wie bei einem Glasstäbchen von gleicher Gröfse. Betrachtet man sie aber in ihrer Lage im lebenden Körper, in der sie umgebenden Lymphe, dann erscheinen die Umrisslinien nicht so scharf begrenzt. In keinem Fall kann eine scharfe Grenzlinie zwischen einer oberflächlichen Schicht und einer tiefer gelegenen Substanz erkannt werden. Die Faser erscheint der Quere nach gestreift, gerade so als wenn die durchsichtig-klare Glassubstanz in regelmäfsigen Abständen (Fig. 105, A, d) matt gemacht wäre und deshalb weniger hell erschiene. Jeder dieser „dunkeln Querstreifen“ ist ungefähr 2 μ breit, und die zwischen ihnen liegenden „hellen Streifen“ haben nahezu dieselbe oder unter gewöhnlichen Umständen eine etwas geringere Breite.

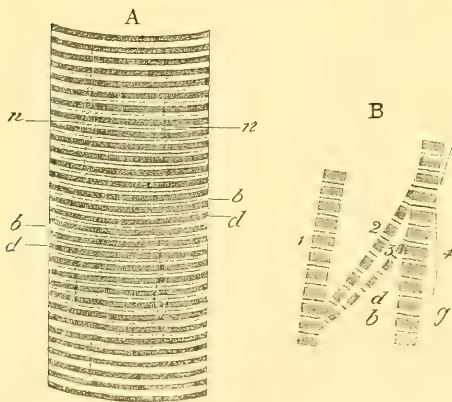


Fig. 105.

A. **Teil einer Muskelfaser (vom Frosch) im natürlichen Zustand;** *d* dunkle Querstreifen; *b* helle Streifen mit der feinen Zwischenlinie, welche an vielen derselben sichtbar ist; *n* Kerne und feinkörniges, die Kerne umgebendes Protoplasma, nur undeutlich sichtbar.

B. **Zerzupfte Muskelfasern von einem Säugetier.** Man sieht Fasern von verschiedener Dicke; 4 zeigt eine feinste Fibrille; *d* dunkle Querstreifen, *b* helle Streifen, in deren Mitte die körnige Zwischenlinie, *g*, sichtbar ist

Bei starken Vergröfserungen sieht man in der Mitte jedes hellen Streifens eine sehr dünne, dunkle, körnige Linie, welche den hellen Streifen in zwei gleiche Hälften teilt. Da diese Erscheinungen unverändert bleiben, wenn man durch Heben und Senken des Mikroskopes die Dicke der Faser nach und nach scharf einstellt, so folgt, dass die dunklen und hellen Querstreifen und die körnigen Zwischenlinien in den letzteren den Rändern von Abteilungen mit verschiedenem optischen Charakter entsprechen, welche regelmäfsig abwechselnd nebeneinander geschichtet sind in der ganzen Länge der Faser. Bezeichnen wir die aufserordentlich dünnen Schichten, welche von der Seite gesehen als die dünnen, körnigen Linien erscheinen, mit g, die etwas dickeren Schichten zu beiden Seiten jener, welche von der Seite gesehen als helle Querstreifen erscheinen, mit B, und endlich die noch dickeren, weniger durchsichtigen Teile, welche deshalb als dunkle Querstreifen erscheinen, mit D, so können wir den Bau der ganzen Faser auffassen als eine Anordnung von aufeinander geschichteten Plättchen nach dem Schema: D B g B D B g B u. s. w. Auf einen Millimeter der Faserlänge würden etwa 1200 solche abwechselnde Schichten vorhanden sein.

In einer vollkommen unveränderten lebenden Muskelfaser sieht man neben dieser Querstreifung kaum eine Andeutung von Längsstreifung. Aber nahe der Oberfläche bei Muskeln von Säugetieren und in verschiedenen Tiefen bei denen vom Frosch erscheinen in der Faser schwache Andeutungen von Hohlräumen, in denen je ein Kern, umgeben von einer geringen Menge Protoplasma, gelegen ist (Fig. 105, A, n). Das sind die sogenannten Muskelkörperchen.

Wenn die Muskelfaser abstirbt, erleidet sie rasch verlaufende Änderungen: a) es treten lange, parallel verlaufende Linien auf, oft weniger als 2 μ voneinander entfernt, in gröfserer oder geringerer Zahl, bis zuweilen die ganze Faser in eine Anzahl feinster Fäserchen oder Fibrillen zerklüftet erscheint; b) die dunklen Querstreifen werden viel undurchsichtiger, wodurch die Querstreifung viel besser ausgeprägt erscheint, so dass zuletzt die dunklen Querstreifen sich als scharfbegrenzte Scheiben darstellen; c) die Kerne nehmen scharfe, unregelmäfsig verlaufende Umrisse an und werden dadurch viel deutlicher sichtbar; endlich d) unter gewissen Umständen und insbesondere nach Behandlung

der Muskelfasern mit gewissen Reagentien hebt sich eine dünne Oberflächenschicht scharf von dem übrigen, inneren Teil der Substanz ab und erscheint als eine glashelle, durchsichtige Membran, das Sarkolemma, welches die quergestreifte und in Fibrillen zerfallene Substanz der Faser wie eine Scheide umhüllt.

Die hellen Querstreifen hingegen und die körnigen Linien verändern sich nur wenig beim Absterben.

Bei sehr starken Vergröfserungen erscheinen die körnigen Linien als eine aus vielen kleinen Körnchen zusammengesetzte, äufserst dünne Platte, welche an ihren Rändern mit dem Sarkolemma zusammenhängt.

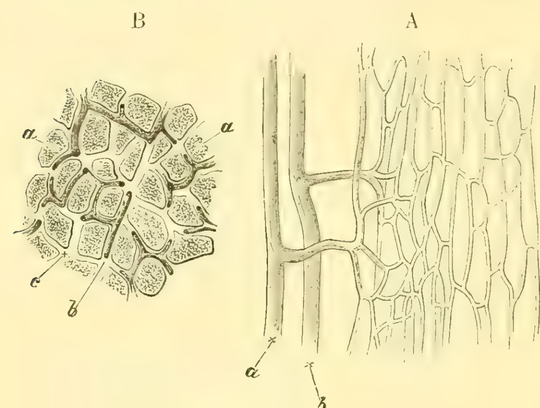


Fig. 106.

Kapillaren eines quergestreiften Muskels.

A. Im Längsschnitt. Die Weite der Maschen entspricht der Dicke einer einzelnen Muskelfaser. *a* kleine Arterie; *b* kleine Vene.

B. Querschnitt. *a* Durchschnitte der Muskelfasern; *b* mit Injektionsmasse gefüllte Kapillaren; *c* Stellen, wo der Schnitt keine Kapillaren getroffen hat, oder wo dieselben ungefüllt geblieben sind.

Zerzupft man das Sarkolemma einer abgestorbenen Faser mit Nadeln, so zerfällt die quergestreifte Substanz in verschiedener Weise, je nachdem die Faser vorher behandelt worden ist. Sie kann nach der Quere in Scheiben zerfallen, deren jede einen der dunklen Querstreifen enthält, oder der Länge nach in Fibrillen, deren jede noch dieselbe Abwechselung von hellen und dunklen Streifen zeigt, wie vorher die ganze Faser. Diese künstlich erzeugten Fibrillen haben sehr verschiedene Dicken, je nach dem Verfahren und der Geschicklichkeit des Präparierenden. Zuweilen sind sie aufserordentlich fein (Fig. 105, B). Querschnitte von Muskelfasern, welche man in vollkommen frischem Zustande hat gefrieren lassen, zeigen dicht aneinander liegende kleine runde Flecke, welche die Querschnitte von natürlichen, vorgebildeten Fibrillen zu sein scheinen. Wenn in

diesen Fällen die Muskelsubstanz wirklich keine Veränderungen erlitten hat, so ist die einzig mögliche Deutung jener Bilder die, dass die Muskelfaser in der That aus Fibrillen zusammengesetzt sei und dass diese in der lebenden Muskelfaser nur darum unsichtbar sind, weil die Fibrillen dasselbe Lichtbrechungsvermögen haben, wie die zwischen ihnen enthaltene interfibrilläre Substanz. Ob aber die feinsten, künstlich hergestellten Fibrillen, in welche man eine abgestorbene Faser zerlegen kann, mit jenen, dem Anschein nach natürlichen, vorgebildeten Fibrillen identisch sind, ist noch nicht sicher ausgemacht. In manchen Fällen sind nämlich die künstlichen Fibrillen schmaler als die natürlichen, gleichsam als wären die letzteren, ebenso wie die ganze Faser, noch einer Spaltung nach der Länge fähig.

Dies sind die wichtigsten Eigentümlichkeiten, welche im Bau der gewöhnlichen quergestreiften Muskeln zu beobachten sind. Doch mag noch angemerkt werden, dass die dunklen Querstreifen doppeltbrechend sind, so dass, wenn man eine quergestreifte Muskelfaser in dem dunklen Gesichtsfelde zwischen gekreuzten, polarisierenden Prismen betrachtet, diese Streifen hell erscheinen. In weit geringerem Grade zeigt sich die Aufhellung auch an den körnigen Zwischenlinien.

36. Wie bei den schon früher besprochenen Geweben, so ist auch bei den Muskeln die Stelle des späteren, ausgebildeten Gewebes in den Anfangsstadien der Entwickelung von einer Masse dichtgedrängter, noch nicht differenzierter, kernhaltiger Zellen eingenommen. Im Laufe der Entwickelung verwandeln sich einige dieser Zellen in das Gewebe des Perimysiums, andere dagegen wachsen sehr beträchtlich und verlängern sich zugleich, so dass sie die Gestalt von mehr oder weniger spindelförmigen Stäbchen annehmen. Inzwischen teilt sich der Kern jeder Zelle zu wiederholten Malen, so dass jedes Stäbchen mehrere Kerne enthält und jede Faser demnach eine mehrkernige Zelle darstellt Zugleich mit diesen Vorgängen nimmt der protoplasmatische Inhalt der ursprünglichen Zelle nach und nach die Eigenschaften der quergestreiften Muskelsubstanz an, mit Ausnahme einer geringen Menge in der Umgebung eines jeden Kernes, welche unverändert bleibt und ein sogenanntes Muskelkörperchen darstellt.

37. Die vielkernige Zelle, welche so zu einer Muskelfaser umgewandelt worden ist, wird ernährt von der aus den anliegenden

Kapillaren ausgeschwitzten Flüssigkeit; sie atmet sozusagen, denn sie erfährt eine langsame Oxydation auf Kosten des in jener Flüssigkeit absorbierten Sauerstoffes und giebt Kohlensäure ab. Sie ist in der That, wie die anderen Gewebe, ein eigenartiger Organismus, mit eigenem Leben, aber für die Erhaltung dieses Lebens abhängig von der Verbindung mit anderen ähnlichen Organismen, durch deren Vermittelung ihre Temperatur und ihre Versorgung mit Nahrungsstoffen unterhalten wird.

Die besondere Eigentümlichkeit der lebenden Muskelfaser, diejenige, welche ihre besondere physiologische Bedeutung ausmacht, ist ihr Zusammenziehungsvermögen. Auch der Leib eines farblosen Blutkörperchens hat, wie wir gesehen haben, dies Vermögen, durch welches es fortwährend Formveränderungen ausführt. Aber diese finden an allen Stellen der Oberfläche statt, bald hier und bald dort, und haben keine bestimmte Beziehung zum Durchmesser des Körperchens. Bei der Muskelfaser aber erfolgt die Zusammenziehung stets in einer bestimmten Weise: sie verkürzt sich in der Längsrichtung und wird dabei entsprechend dicker in der Richtung senkrecht zur Faseraxe. Aufserdem erfolgt diese Gestaltveränderung in der Regel sehr schnell und nur auf Einwirkung eines äufseren Reizes.



Fig. 107.
Muskelfasern (vom Frosch). Der kontraktile Inhalt (m) ist geschrumpft, das Sarkolemma (s) hängt mit den Sehnenfasern (t) zusammen.

Betrachtet man eine sich zusammenziehende Muskelfaser mit dem Mikroskop, so sieht man, dass alle Querstreifen breiter werden in der Richtung senkrecht zur Faseraxe und schmaler oder kürzer in der Richtung der Axe; sie rücken dabei auch näher aneinander. Einige Beobachter glauben, dass die hellen Streifen an Voluminhalt abnehmen im Vergleich zu den dunkelen, doch wird dies von anderen bestritten. Wenn die Faser wieder erschlafft, kehren die Streifen wieder in ihren früheren Zustand zurück.

38. Nichtgestreifte oder glatte Muskeln. Diese Art von Muskeln, welche man in den Wandungen des Ernährungsschlauches, der Blutgefäfse, der Harnblase und in vielen anderen Organen antrifft, ist gleich den quergestreiften Muskeln aus Fasern zusammengesetzt, die zusammengehalten werden durch

Bindegewebe, in welchem Blutgefäſse und Nerven liegen. Aber die glatte Muskelfaser selbst unterscheidet sich erheblich von der quergestreiften. Sie ist viel kleiner; ihre Dicke beträgt ungefähr 6 μ, ihre Länge 20 bis 50 μ. Sie kann daher auch nicht mit unbewaffnetem Auge gesehen werden, während eine gröſsere quergestreifte Faser sehr gut sichtbar für ein scharfes Auge ist Sie besitzt nur einen Kern, hat kein Sarkolemma und ihre Substanz zeigt keine Querstreifung. Sie ist in Wahrheit eine in die Länge gewachsene Zelle, welche die Form einer etwas plattgedrückten Spindel angenommen hat, mit einem ovalen oder zuweilen stäbchenförmigen Kern in ihrer Mitte (Fig. 108). Viele solche Faserzellen sind mit einander durch spärliche Kitt- oder Interzellularsubstanz zu dünnen Bändern zusammengefaſst und eine Anzahl solcher Bänder sind durch Bindegewebe zu gröſseren Bändern oder Bündeln vereinigt. Jede dieser Faser hat die Fähigkeit, sich zu verkürzen, wobei sie sich der Form eines kürzeren aber dickeren Ellipsoids annähert.



Fig. 108.

Eine Faserzelle aus der glatten Muskelschicht des Darmes. *p* das körnige Protoplasma, welches den Kern umgiebt.

39. Muskelgewebe des Herzens. Dasselbe stellt eine Zwischenstufe zwischen quergestreiftem und glattem Muskelgewebe dar. Dem letzteren gleicht es darin, dass es aus Zellen, die jede nur einen Kern besitzen und kein Sarkolemma haben, zusammengesetzt ist. Aber diese Zellen sind im allgemeinen kurz und verhältnismäſsig dick, häufig verzweigt und von unregelmäſsigen Formen, und ihre Substanz ist mehr oder weniger deutlich quergestreift wie die der quergestreiften Muskeln. Eine Anzahl solcher Zellen sind durch Kittsubstanz zu längeren, mit einander anastomosierenden Faserzügen verbunden und diese bilden, in sehr verwickelter Art untereinander verwoben, die Wandungen der Herzkammern und Vorkammern.

40. Nervengewebe. Die Eigenschaften des Nervengewebes sind an den verschiedenen Stellen des Nervensystems sehr verschieden. Wir wollen unsere Betrachtung mit einem motorischen Nerven beginnen, z. B. einem solchen, wie er den Bicepsmuskel versorgt.

Gleich einem Muskel ist auch ein Nerv ein zusammengesetztes Organ. Dasselbe besteht aus: a) der Nervenscheide oder dem Perineurium; von diesem gehen Fortsätze in das Innere des Nerven ab, welche ihn in eine Anzahl paralleler, röhrenförmiger Hohlräume abteilen, und in diesen liegen b) die Nervenfasern.

Das Perineurium besteht wie das Perimysium des Muskels aus Bindegewebe und enthält die spärlichen Blutgefäſse des Nerven. Es besteht aus einer äuſseren Lage, welche den ganzen Nervenstamm umhüllt, und innerhalb derselben aus concentrisch angeordneten Lagen, welche sekundäre Scheiden für dickere oder dünnere Bündel einzelner Fasern bilden, innerhalb deren wieder immer kleinere Gruppen von Fasern durch Zwischenwände getrennt sind, bis zuletzt unvollständige und äuſserst dünne Scheiden die einzelnen Nervenfasern voneinander trennen.

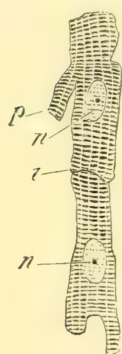


Fig. 109.

Faserzellen des Herzmuskels. Zwei solcher Zellen, mit einander zusammenhängend von den anderen abgetrennt. *n* der Kern; *e* Verbindungslinie der beiden Zellen; *p* ein Fortsatz, welcher mit einem ähnlichen einer anderen Zelle verbunden war. Vergröſserung 400 mal.

41. Die Nervenfasern, der wesentliche Bestandteil der Nerven, haben Durchmesser von 2 bis zu 12 μ. Im lebenden Zustand stellen sie cylindrische Fäden von glashellem Aussehen dar, welche sehr stark lichtbrechend sind. Eine begrenzende Haut, die von dem übrigen Inhalt der Faser zu unterscheiden wäre, ist nicht sichtbar; doch kann man zuweilen im Innern ein in der Axe der Faser verlaufendes, bandartiges Gebilde erkennen. In Zwischenräumen, deren Länge wechselt, aber immer um vieles gröſser ist als die Dicke der Faser, sieht man scharfbegrenzte Einschnürungen, die sogenannten Ranvier'schen Schnürringe (Fig. 110, B, nc). Innerhalb des Raumes zwischen zwei solchen Einschnürungen kann man bei aufmerksamer Betrachtung einen Kern entdecken (Fig. 110, B, nc), umgeben von einer mehr oder weniger groſsen Menge protoplasmatischer Substanz und in der Masse der Faser eingebettet, aber stets nahe der Oberfläche.

Wenn die Faser abstirbt und besonders wenn sie mit gewissen Reagentien behandelt wird, ändert sich ihr Aussehen schnell. Erstens wird die äuſserste Schicht der Faser deutlich als eine gesonderte Membran erkennbar, als Neurilemma, auch

Primitivscheide oder Schwann'sche Scheide genannt. Zweitens wird das centrale Band undurchsichtiger und erscheint zuweilen der Länge nach feingestreift, als bestände es aus äufserst feinen Fibrillen; man bezeichnet es als Axenband von Remak oder auch als Axencylinder Purkinje's. Drittens: Da wo das Axenband einen Schnürring passiert, sieht man das Neurilemma ihm dicht anliegen; in den Zwi-

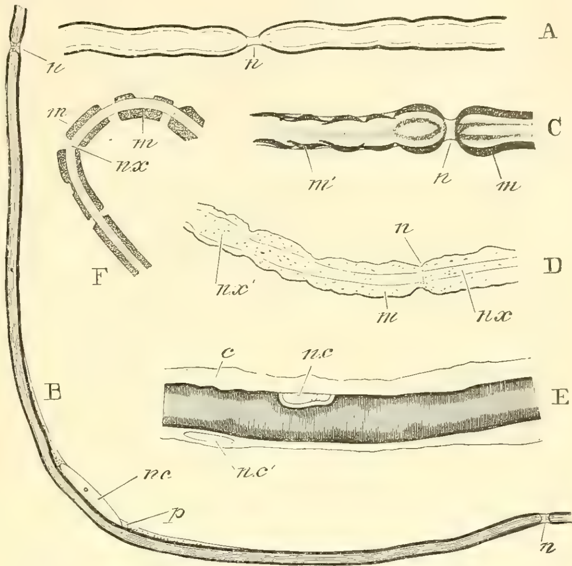


Fig. 110.

Nervenfasern.

A. Eine Nervenfaser, ohne Anwendung von Reagentien betrachtet; zeigt den durch das Nervenmark veranlassten „doppelten Kontur" und, bei *n*, einen Schnürring. Weder Axenband noch Neurilemma sind mit Sicherheit nachweisbar. Vergröfserung etwa 300 mal.

B. Eine dünne, mit Osmiumsäure behandelte Nervenfaser. *nc* Kern mit dem ihn umgebenden Protoplasma, *p*, nahe dem Neurilemma; *n*,*n* die zwei Schnürringe, welche das Segment begrenzen, zu dem der Kern *nc* gehört. Vergröfserung 400 mal.

C. Teil einer Nervenfaser (dicker als B), mit Osmiumsäure behandelt, um den Schnürring *n* sichtbar zu machen; *m* das stark gefärbte Nervenmark, bei *m'* in Segmente zerfallen. Vergröfserung ungefähr 300 mal.

D. Teil einer Nervenfaser, an welchem man den Durchtritt des Axenbandes, *nx*, durch den Schnürring, *n*, sieht; *m* das Nervenmark; bei *nx'* ist das Axenband infolge der angewendeten Reagentien aufgequollen und unregelmäfsig. Vergröfserung 300 mal.

E. Teil einer Nervenfaser, mit Osmiumsäure behandelt; bei *nc* sieht man den Kern in das Nervenmark eingebettet; *c* zarte perineuriale Scheide, nach aufsen von dem Nerilemma gelegen; den Kontur des letzteren kann man nur da, wo es über den Kern hinzieht, sehen; *nc'* Kern, welcher zur perineurialen Scheide gehört. Vergröfserung 400 mal.

F. Teil einer Nervenfaser, von ihrem Neurilemma getrennt; das Nervenmark ist in einzelne Bruchstücke zerfallen (*m m*), welche das Axenband umhüllen.

schenräumen zwischen zwei Knoten jedoch liegt zwischen Axenband und Neurilemma eine das Licht stark reflektierende und daher bei auffallendem Licht weifs aussehende Masse. Man nennt sie das Nervenmark (die „weifse Substanz“ SCHWANN's), welche reichlich eine sehr zusammengesetzte, fettähnliche Masse enthält, die häufig auch mit dem Namen Myelin belegt wird. Wenn das Neurilemma einer frischen Nervenfaser zerrissen wird, fliefst dieses Myelin aus und bildet unregelmäfsige, aus einzelnen Tropfen zusammengesetzte Figuren, ähnlich wie es sehr zähe Flüssigkeiten thun. Das Nervenmark ist durch schräg verlaufende Linien (Fig. 110, C, m), welche vom Axenband bis zum Neurilemma verlaufen, in einzelne Segmente abgeteilt, deren Endflächen schräg abgestutzt sind und dicht aneinander stofsen. Man kann dies zuweilen selbst an ganz frischen Nervenfasern sehen. Viertens wird der zwischen je zwei Schnürringen vorhandene Kern deutlicher, und man sieht, dass er der inneren Fläche des Neurilemmas dicht anliegt.

Wenn man einen motorischen Nerven nach seinem Eintritt in den Muskel weiter verfolgt, so sieht man, dass die oberflächliche Schicht des Perineuriums in das Perimysium übergeht, während die Nervenfasern sich innerhalb der perimysialen Scheidewände in feinere und feinere Zweige verteilen, deren jeder einen Teil der Fasern des Nervenstammes enthalten, die zu einem Bündelchen zusammengefasst sind. Wirkliche Verzweigungen der Nervenfasern finden dabei nicht statt, sondern nur Trennung der nebeneinander laufenden Fasern. In den kleinsten Zweigen aber, wo nur noch wenige Fasern nebeneinander liegen, kommen wirkliche Teilungen vor. Eine solche findet immer nur an einem Schnürring statt und ist dichotomisch, d. h. die Nervenfaser teilt sich in zwei Äste, diese wieder in je zwei u. s. f. Diese feinsten Zweige, welche aus einem oder zwei Fasern bestehen und eine sehr zarte perineuriale Umhüllung besitzen (Fig. 110, E, c), gehen zu einer einzelnen Muskelfaser und jeder Nerv legt sich zunächst an die Aufsenfläche des Sarkolemmas an. An dieser Stelle hört, wenn es nicht schon früher geschehen ist, das Nervenmark auf, das Neurilemma geht in das Sarkolemma über und das Axenband löst sich zu einer Scheibe protoplasmatischer Substanz auf, welche viele Kerne enthält und an der Eintrittstelle des Nerven in die Muskelfaser, dicht unter dem

Sarkolemma auf der quergestreiften Substanz gelegen, dort die sogenannte motorische Platte oder Nervenendplatte darstellt.* In dieser Platte teilt sich das Axenband vielfach und die Zweige bilden ein Geflecht; doch ist das wahre Verhältnis zwischen Nervenendplatte und Muskelsubstanz noch nicht ganz sicher ausgemacht. Das Ganze scheint eine Vorrichtung darzustellen, durch welche die molekularen Bewegungen des Axenbandes (welches bei dem Vorgang der Erregung die Hauptrolle zu spielen scheint) auf die Muskelsubstanz übertragen werden können.

42. Wenn wir den motorischen Nerven nicht zu seiner Endausbreitung im Muskel verfolgen, sondern nach der entgegengesetzten Richtung zum Rückenmark hin, so begegnen wir keiner Veränderung bis dort, wo er in einer vorderen Wurzel in das Rückenmark eintritt. Von den feinsten Verzweigungen des motorischen Nerven, in welche, wie wir gesehen haben, seine Fasern sich ausbreiten, bis zu jener Eintrittsstelle verläuft jede Faser mit einem ungeteilten und ununterbrochenen Axenband, eingehüllt in die aufeinander folgenden Segmente der Scheide zwischen je zwei Schnürringen und von den perineurialen Umhüllungen. An jener Eintrittsstelle geht das Perineurium in die Pia und das bindegewebige Fachwerk des Rückenmarkes über. Das Neurilemma und die Schnürringe hören auf. Oft kann man das Axenband gegen das Vorderhorn der grauen Substanz hin verfolgen, nur von einer Markscheide umhüllt, welche immer dünner wird und zuletzt verschwindet, bis zuletzt das Axenband in einen der Fortsätze jener grofsen Nervenzellen übergeht, welche, wie wir gesehen haben (Vorl. XI, § 5), im Vorderhorn der grauen Substanz liegen.

Diese Nervenzellen sind sehr grofs; der Zellkörper hat einen Durchmesser von 50 bis 100 μ und zuweilen noch mehr. Jede Zelle (Fig. 111) hat einen grofsen, hellen Kern (n) und in diesem ein rundliches Kernkörperchen (n'). Der protoplasmatische Zellleib giebt eine wechselnde Anzahl von verzweigten Fortsätzen (p) ab, welche sich nach allen Richtungen hin verzweigen und zu-

* Diese Anordnung findet man bei den meisten Wirbeltieren. Beim Frosch verzweigt sich das Axenband vielfach, ohne eine eigentliche Platte zu bilden.

letzt in so zarte Fäden übergehen, dass sie nicht weiter verfolgt werden können, und aufserdem einen einzelnen, nicht verzweigten Fortsatz (*np*), welcher in das Axenband einer motorischen Nervenfaser übergeht. Man nennt deshalb auch diesen letzteren Fortsatz der Nervenzelle ihren Axenbandfortsatz, die andern aber, welche sich in ihrem Aussehen nicht von dem Protoplasma des Zellleibes unterscheiden, die Protoplasmafortsätze.

Das Axenband eines motorischen Nerven ist also ein ununterbrochen verlaufender Verbindungsstrang zwischen einer Nervenzelle, welche an seinem centralen Ende liegt, und einer Muskelzelle an seinem peripheren Ende. Mit anderen Worten kann man auch sagen, die Nervenfaser habe zwei Endorgane, ein centrales (die Nervenzelle) und ein peripheres (die Muskelfaser).

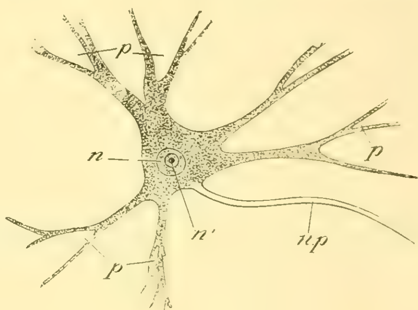


Fig. 111.

Eine grofse Nervenzelle aus dem grauen Vorderhorn des Rückenmarkes. *n* der Kern; *n'* das Kernkörperchen; *p* verzweigte Protoplasmafortsätze, deren feinste Enden abgerissen sind; *np* unverzweigter Axenbandfortsatz, welcher in das Axenband eines motorischen Nerven übergeht.

43. Wenn wir von ein oder zwei Ausnahmefällen absehen, sind die Fasern der Empfindungsnerven in ihrem Bau durch nichts von den motorischen Fasern unterschieden. Wo immer besondere Sinnesendapparate vorkommen, hängen die sensiblen Fasern mit denselben durch ihr Axenband zusammen, nachdem Neurilemma und Nervenmark vorher sich verloren haben.

Bei den Rückenmarksnerven verlaufen alle sensible Fasern in den hinteren Wurzeln (Vorl. XI, § 8) und bilden dort ein Ganglion (Vorl. XI, § 4). Das Ganglion besteht aus Nervenfasern und Nervenzellen, eingebettet in ein Fachwerk von Bindegewebe, welches mit dem Perineurium des Nerven zusammenhängt. Jede Nervenzelle (Fig. 112) besteht wie die Nervenzellen des Rückenmarkes aus einem Zellkörper, einem grofsen Kern und einem Kernkörperchen; aber der Zellkörper hat zum wenigsten in den meisten Fällen nur einen

Fortsatz, so dass die Zelle eine birnenförmige Gestalt erhält. Dieser Fortsatz ist mit einem Neurilemma umgeben, welches die Fortsetzung einer die Zelle umhüllenden Scheide ist; in kurzer Entfernung von der Zelle erhält er eine Markscheide, und nachdem er so zu einem vollständigen Nerven geworden ist, teilt er sich bald darauf in zwei Äste, von denen der eine in den Nervenstamm, der andere in die zum Rückenmark ziehende Wurzel verfolgt werden kann. Die Nervenzellen des Ganglions erscheinen daher als seitliche Anhänge der Nervenfasern, mit diesen in der Form eines T-Stückes verbunden. An der centralen Seite des Ganglions setzen die Nervenfasern ihren Verlauf in die Substanz des Rückenmarkes hinein fort in der Richtung nach dem grauen Hinterhorn zu. Gleich der motorischen Faser verliert hier auch die sensible ihr Neurilemma; die Art und Weise ihrer schliefslichen Endigung ist aber noch nicht sicher festgestellt.

44. Die beschriebenen Nervenfasern, motorische wie sensible, bezeichnet man auch als markhaltige, da sie mit Ausnahme ihrer letzten peripheren und centralen Enden von der Markscheide umhüllt sind. Vereinzelt trifft man unter diesen markhaltigen Fasern der Rückenmarks- und Gehirnnerven einzelne, welche kein Nervenmark haben. Sehr zahlreich sind diese marklosen Fasern aber im Sympathikus. Sie stellen sich als blasse, abgeplattete Bänder dar, ungefähr so breit als schmale, markhaltige Fasern, oft der Länge nach fein fibrillär gestreift und sehr oft sich teilend. Sie scheinen

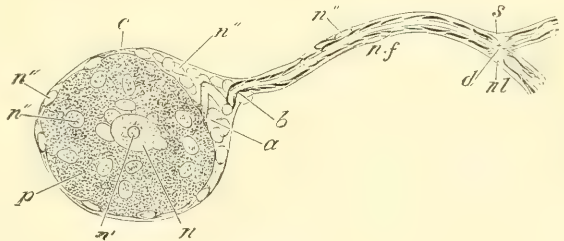


Fig. 112.

Eine Nervenzelle aus dem Ganglion der hinteren Wurzel eines Rückenmarksnerven. *n* der Kern; *n'* das Kernkörperchen; *p* Protoplasmasubstanz des Zellleibes; *c* Kapsel der Zelle; *n''* Kerne der Kapsel; *nf* Nervenfaser, welche sich bei *d* teilt. Bei *a* geht das Axenband der Faser in die Zellsubstanz über; bei *b* beginnt die Markscheide; *n'''* Kerne der Nervenscheide. An dem Schnürring bei *d*, wo die Teilung stattfindet, sieht man, wie das Axenband sich teilt und dass aufser dem Neurilemma, *nl*, noch eine zweite Scheide, *s*, als Fortsetzung der Nervenkapsel, auf die Nervenfasern übergeht.

in der That nackte Axenbänder zu sein ohne Markscheide; auch ein Neurilemma ist nicht nachweisbar, doch sieht man vereinzelte Kerne an ihnen, welche den Kernen der gewöhnlichen Nervenfasern zu entsprechen scheinen.

In den Ganglien des Sympathikus finden sich Nervenzellen mit mehreren Fortsätzen, von denen einer oder mehrere zu solchen marklosen Fasern verfolgt werden können.

45. Das Rückenmark besteht aus: a) einer bindegewebigen Scheide, welche reichlich mit Gefäſsen versehen ist und mit dem Perineurium der Nerven zusammenhängt. Man nennt sie die Pia mater; von ihr gehen zarte Scheidewände ins Innere gegen die Axe des Rückenmarkes hin; b) einem Fachwerk von einer eigentümlichen, netzförmigen Abart von Bindegewebe, welche Neuroglia genannt wird und welches die Zwischenräume jener Abteilungen ausfüllt und die Hohlräume begrenzt, in denen c) die Nervenfasern und Nervenzellen liegen, und endlich d) die Epithelzellen, welche den durch die ganze Länge des Rückenmarkes sich erstreckenden Centralkanal auskleiden.

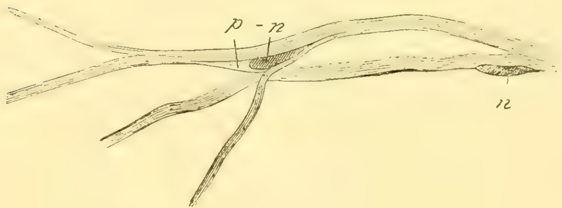


Fig. 113.

Blasse, marklose Nervenfasern aus dem N. vagus.
n Kern; *p* Protoplasma, welches zum Kern gehört.

Das Gehirn enthält im wesentlichen dieselben Elemente wie das Rückenmark und kann als vorderes, verdicktes Ende des letzteren angesehen werden; seine Höhlungen oder Ventrikel (mit Ausnahme des fünften) können als Erweiterungen des Centralkanals betrachtet werden. Die Anordnung der Nervenzellen und Fasern im Gehirn ist jedoch eine sehr verwickelte und kann hier nicht mitgeteilt werden.

Zwei von den sogenannten Hirnnerven müssen besonders erwähnt werden. Was gewöhnlich als „Riechnerv“ bezeichnet wird, ist in Wahrheit ein Hirnlappen und enthält Nervenzellen. Die eigentlichen Riechnerven sind ein Bündel von Fasern, welche von der unteren Fläche jener Lappen entspringen und durch die Öffnungen der Siebbeinplatten hindurchtreten, um

sich in der Riechschleimhaut zu verbreiten. Diese Fasern gleichen ungemein den marklosen Fasern des Sympathikus, da sie fast nur Axenbänder mit Zellen in regelmäfsigen Abständen sind, doch hat jede Faser ein deutliches Neurilemma.

Der „Sehnerv" ist genau genommen auch ein Teil des Gehirns und zeigt diesen centralen Charakter darin, dass seine Fasern kein Neurilemma und keine Schnürringe aufweisen; aber in seinem Verlauf sind keine Nervenzellen enthalten.

ANHANG A.

Zusammenstellung einiger wichtiger anatomischer und physiologischer Zahlenwerte.

Das Gewicht des menschlichen Körpers kann im Durchschnitte auf 70 kgrm angenommen werden.

I. Allgemeine Statistik.

Solch ein Körper enthält etwa:

	kgrm
An Muskeln und deren Anhängen	30.8
„ Knochen	10,8
„ Haut	4.8
„ Fett	12.7
„ Gehirn	1.4
„ Brusteingeweiden	1,1
„ Baucheingeweiden	5.0
	66.6*

	kgrm
Oder an Wasser	50
„ an festen Stoffen	20

Die festen Stoffe bestehen aus den Elementen Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Silicium, Chlor, Fluor, Kalium, Natrium, Calcium (Lithium), Magnesium, Eisen (Mangan, Kupfer, Blei) und können in folgende Abteilungen gebracht werden:

Eiweifskörper, Stärkekörper, Fette, Mineralstoffe.

---

* Fügt man hierzu 3,4 kgrm Blut, welche Menge man leicht aus dem Körper entfernen kann, so erhält man das Gesamtgewicht von 70 kgrm. Eine beträchtliche Blutmenge wird jedoch immer in den Haargefäfsen und kleineren Gefäfsen zurückbleiben und muss mit den verschiedenen Geweben verrechnet werden. Die gesamte Blutmenge hat man neuerdings zu ungefähr $^1/_{13}$ des Körpergewichtes berechnet, was etwa 5,5 kgrm ergeben würde.

Solch ein Körper verliert in 24 Stunden:

an Wasser etwa	2600 grm
an anderen Stoffen	1160 „

darunter ist an Kohlenstoff 270 grm, an Stickstoff 20 grm, an Mineralstoffen 30 grm; er verliert in vierundzwanzig Stunden so viel Wärme, um 2300 kgrm Wasser von 0^0 auf 1^0 Celsius zu erwärmen, was einer Arbeit von 1000000 Kilogramm-Meter entspricht.* Aufserdem kann ein solcher Körper im Mittel eine Arbeit von 125000 kgrmm leisten.

Die Verluste finden durch verschiedene Organe statt, nämlich durch:

	Wasser. grm	Andere Stoffe. grm	Stickstoff. grm	Kohlenstoff. grm
die Lungen	450	780	—	240
Nieren	1500	40	16	8
Haut	530	20	1	5
Kot	120	30	3	17
Summe	2600	870	20	270

Gewinn und Verlust des Körpers gestalten sich etwa wie folgt:

Einnahme:		Ausgabe:	
Trockene, feste Nahrung .	550 grm	Wasser	2600 grm
Sauerstoff	780 „	Andere Stoffe	1160 „
Wasser	2430 „**	Summe	3760 grm.
Summe	3760 grm		

II. Verdauung.

Solch ein Körper würde an Nahrung für einen Tag verbrauchen 260 grm Kohlenstoff und 20 grm Stickstoff, welche mit den sonst noch nötigen Stoffen am passendsten folgendermafsen verteilt würden:

Eiweifsartige Körper	120 grm
Stärkeartige Körper	330 „
Fette	70 „
Mineralstoffe	30 „
Wasser	2430 „
Summe	2980 grm

* Ein Kilogramm-Meter ist die Arbeit, welche 1 kgrm 1 m hoch hebt.

** 170 grm Wasser werden im Körper bei der Verbrennung der festen Nahrungsstoffe gebildet.

und welche zum Beispiel auf folgende Weise beschafft werden könnten:

Mageres Rindfleisch	350 grm
Brot	400 „
Milch	400 „
Kartoffeln	200 „
Butter und anderes Fett	40 „
Wasser	1590 „
Summe	2980 grm.

Der in einem Tage abgegebene Kot würde etwa 200 grm betragen, worin etwa 50 bis 60 grm feste Stoffe enthalten wären.

III. Kreislauf.

In einem solchen Körper würde das Herz etwa fünfundsiebzig mal in der Minute schlagen und mit jedem Herzschlage 95 cbcm oder etwa 100 grm Blut austreiben.

Das Blut würde sich in den grofsen Arterien mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 cm in der Sekunde bewegen, in den Haargefäfsen mit einer Geschwindigkeit von etwa 24 bis 36 mm in der Sekunde, und die Zeit, welche zu einem vollen Umlaufe erforderlich wäre, kann auf etwa 30 Sekunden geschätzt werden.

Der Druck, mit welchem der linke Ventrikel das Blut in die Aorta einpresst, kann geschätzt werden gleich dem Drucke einer Blutsäule von fast 3 m Höhe oder einer Quecksilbersäule von etwa 250 mm Höhe; seine in vierundzwanzig Stunden vollbrachte Arbeit wird etwa 25000 Kilogramm-Meter, die Arbeit des ganzen Herzens wird etwa 33000 Kilogramm-Meter betragen.

IV. Atmung.

Solch ein Körper würde etwa achtzehn mal in der Minute atmen.

Die Lungen würden an rückständiger Luft etwa 1600 cbcm enthalten, an Ergänzungsluft etwa 1600 cbcm, an Atmungsluft 500 bis 600 cbcm und an Hilfsluft 1600 cbcm.

Die „vitale Kapazität“ der Lunge, die gröfste Menge von Luft, welche auf einmal ein- oder ausgeatmet werden kann, würde etwa gleich 3700 cbcm sein.

In vierundzwanzig Stunden würden ungefähr 1000 l Luft in den Lungen ein- und ausgehen.

Bei ihrem Verweilen in der Lunge würde diese Luft etwa vier bis sechs Prozent von ihrem Volumen an Sauerstoff einbüſsen und etwa ebensoviel oder etwas weniger an Kohlensäure aufnehmen.

In vierundzwanzig Stunden würden etwa 780 grm Sauerstoff verbraucht und etwa 900 grm Kohlensäure ausgegeben werden, in welcher 240 grm Kohlenstoff enthalten sein würden. Die gleichzeitig durch die Lunge ausgegebene Wassermenge würde etwa 450 grm betragen.

In vierundzwanzig Stunden würde ein solcher Körper etwa 50 cbm reiner Luft bis zu einem Betrage von ein Prozent oder 500 cbm reiner Luft bis zu einem Betrage von ein pro Mille verunreinigt haben. Rechnen wir den Gehalt reiner Luft an Kohlensäure auf 3 Teile und den der ausgeatmeten Luft auf 470 Teile in 10000 Teilen, so würde ein solcher Körper 700 cbm gewöhnlicher Luft in einem Tage nötig haben, damit die ihn umgebende Luft nicht auf mehr als ein pro Mille Kohlensäuregehalt komme. (Wird Luft durch Menschen mit mehr als ein pro Mille Kohlensäure verunreinigt, so machen sich die nebenbei von den Menschen abgegebenen Stoffe schon der Nase sehr merkbar.) Ein Mann von dem angegebenen Gewichte (70 kgrm) sollte daher mindestens seinen gut gelüfteten Raum von 25 cbm Inhalt zur Verfügung haben.

V. Hautabsonderung.

Solch ein Körper würde durch die Haut etwa 530 grm Wasser, an festen Stoffen etwa 10 grm, an Kohlensäure etwa 18 grm in 24 Stunden abgeben.

VI. Nierenabsonderung.

Durch die Nieren würde ein solcher Körper in vierundzwanzig Stunden verlieren: an Wasser etwa 1500 grm, an Harnstoff etwa 33 grm, an anderen festen Stoffen etwa 32 grm.

VII. Nerventhätigkeit.

In Froschnerven pflanzt sich die Erregung mit einer Geschwindigkeit von etwa 25 m in der Sekunde fort.

In menschlichen Nerven geschieht die Fortpflanzung in Empfindungs- und Bewegungs-Nerven mit einer Geschwindigkeit, welche zwischen 30 und 60 m in der Sekunde schwankt.

VIII. Histiologie.

Rote Blutkörperchen haben einen Durchmesser von ungefähr 0,008 mm, weifse Blutkörperchen von etwa 0,01 mm.

Quergestreifte Muskelfasern haben eine Breite von etwa 0,06 mm, glatte Muskelfasern von 0,006 mm.

Nervenfasern schwanken in der Breite zwischen 0,002 und 0,02 mm.

Die Fasern des Bindegewebes haben eine Breite von etwa 0,001 mm.

Epithelzellen (der Haut) sind etwa 0,025 mm breit.

Die Weite der Haargefäfse schwankt zwischen 0,007 und 0,012 mm.

Wimperhärchen (aus der Luftröhre) sind etwa 0,08 mm lang.

Die Zapfen im gelben Flecke der Netzhaut haben eine Breite von ungefähr 0,003 mm.

ANHANG B.

Der Fall der Frau A.

1. Die erste Täuschung, welcher die Frau A. unterworfen war, betraf nur das Gehör. Am 21. Dezember 1830, ungefähr um halb fünf Uhr nachmittags, stand sie am Kaminfeuer in ihrem Vorsaale und war eben im Begriffe, zum Ankleiden hinaufzugehen, als sie sich (wie sie urteilte) von ihres Mannes Stimme bei ihrem Namen rufen hörte: „— —, — —, komm her! komm zu mir! —“ Sie glaubte, dass er an der Thüre stände und rufe, damit geöffnet werde; aber als sie hinging und die Thür öffnete, fand sie zu ihrer grofsen Überraschung keinen Menschen. An das Kaminfeuer zurückgekehrt, hörte sie wieder dieselbe Stimme sehr deutlich und laut ausrufen: „— —, komm, komm her!“ Sie öffnete nun zwei andere Thüren desselben Zimmers, und da sie niemand sah, kehrte sie an den Kamin zurück. Nach wenigen Sekunden hörte sie noch einmal dieselbe Stimme rufen: „Komm zu mir, komm! komm mit weg!“, diesmal in einem lauten, klagenden und etwas ungeduldigen Tone. Sie antwortete ebenso laut: „„Wo bist du? ich weifs nicht, wo du bist““ — immer noch,

in der Meinung, dass er sie irgendwo suche; aber da sie keine Antwort erhielt, ging sie in ihre Gemächer im oberen Geschosse. Als Herr A. ungefähr eine halbe Stunde später nach Hause kam, frug sie, warum er sie so oft gerufen habe und wo er gewesen sei — und war natürlich höchlich überrascht, zu erfahren, dass er zu der Zeit gar nicht in der Nähe des Hauses gewesen war.

Eine ähnliche Täuschung, welche zu jener Zeit nicht besonders beachtet wurde, erfuhr Frau A. schon zehn Jahre früher, als sie in Florenz wohnte und sich der besten Gesundheit erfreute. Während des Auskleidens nach einem Balle hörte sie auch eine Stimme wiederholt ihren Namen rufen, ohne dass sie es sich damals erklären konnte.

2. Die nächste Täuschung, welche der Frau A. begegnete, hatte einen mehr erschreckenden Charakter. Am 30. Dezember, ungefähr um 4 Uhr nachmittags, kam Frau A. aus dem oberen Stocke in das Wohnzimmer, das sie nur wenige Minuten vorher verlassen hatte. Bei dem Eintritte in das Zimmer sah sie ihren Mann, wie sie glaubte, mit dem Rücken nach dem Feuer gekehrt am Kamine stehen. Da er kaum eine halbe Stunde vorher spazieren gegangen, war sie überrascht, ihn da zu sehen und frug, warum er so bald heimgekehrt sei. Die Gestalt sah sie mit ernstem und nachdenklichem Gesichtsausdrucke starr an, sprach aber nicht. Da sie glaubte, er sei in Gedanken versunken, setzte sie sich in einen Sessel, der nahe am Feuer, höchstens zwei Fufs weit von der Gestalt stand, welche sie immer noch vor sich stehen sah. Als auch die Augen derselben fest auf sie gerichtet blieben, sagte sie nach Verlauf einiger Minuten: „Warum sprichst du nicht?“ Darauf bewegte sich die Gestalt sofort nach dem Fenster am äufsersten Ende des Zimmers zu, behielt aber die Augen auf sie gerichtet und kam so dicht an ihr vorbei, dass sie betroffen war, keinen Schritt und kein Geräusch zu hören, ja nicht einmal ein Anstreifen der Kleider oder auch nur eine Bewegung der Luft zu verspüren.

Obgleich sie nun überzeugt war, dass die Gestalt nicht ihr Mann sei, glaubte sie doch nicht einen Augenblick, dass es etwas Übernatürliches wäre, und gelangte bald zu der Überzeugung, es sei eine Augentäuschung. Sobald sich ihr Verstand dieser Überzeugung bemächtigt hatte, erinnerte sie sich des von mir empfohlenen Versuches, das Sehobjekt doppelt erscheinen zu

lassen; aber ehe sie im stande war, dies deutlich zu thun, hatte die Gestalt das Fenster erreicht und war verschwunden. Frau A. folgte ihr unmittelbar, schüttelte die Gardinen und untersuchte das Fenster; der Eindruck war so klar und so stark gewesen, dass sie ungern glaubte, es nicht mit einem wirklichen Wesen zu thun zu haben. Als sie aber hier keinen natürlichen Ausgang für die Gestalt finden konnte, war sie ganz sicher, dass sie eine Erscheinung gesehen hatte, gleich der in Dr. Hibbert's Werk beschriebenen, und sie fühlte folglich weder Angst noch Aufregung. Die Erscheinung war bei hellem Tageslichte gesehen worden und dauerte 4 oder 5 Minuten lang. Als die Gestalt dicht bei ihr stand, verdeckte sie die dahinter befindlichen wirklichen Gegenstände: sie war überhaupt ganz so lebendig und körperhaft wie in Wirklichkeit.

3. Bei diesen beiden Gelegenheiten war Frau A. allein, aber als das nächste Gespenst erschien, war ihr Mann zugegen. Dies fand am 4. Januar statt. Ungefähr um 10 Uhr abends, als Herr und Frau A. im Wohnzimmer saſsen, nahm Herr A. das Eisen auf, um das Kaminfeuer zu schüren, und als er eben im Begriffe war, dies zu thun, rief Frau A.: „Ei! da ist ja die Katze im Zimmer!“ „„Wo denn?““ fragte Herr A. „Da, dicht bei dir,“ sagte sie. „„Wo?““ wiederholte er. „Nun, auf der Decke da, zwischen dir und dem Kohlenschütter.“ Herr A., der noch immer das Schüreisen in der Hand hielt, zeigte damit nach der angegebenen Richtung. „Gieb acht!“ rief Frau A., „gieb acht! du stöſst sie mit dem Eisen.“ Herr A. bat sie wieder, genau den Punkt anzugeben, wo sie die Katze sah. Sie erwiderte: „Je, da sitzt sie ja; dicht vor deinen Füſsen auf der Decke; sie sieht mich an. Es ist Kitty; — komm her, Kitty!“ Es waren zwei Katzen im Hause, von denen die eine mit diesem Namen belegt war, aber sie wurden selten oder fast nie in das Wohnzimmer gelassen.

In dem Augenblicke hatte Frau A. keine Ahnung, dass der Anblick der Katze eine Täuschung war. Aufgefordert, sie anzufassen, erhob sie sich und that, als ob sie etwas sich Fortbewegendes verfolgte. Sie that einige Schritte und sagte dann: „Sie ist unter den Stuhl gekrochen.“ Herr A. versicherte seiner Frau, es sei eine Täuschung, aber sie wollte es nicht glauben. Er nahm dann den Stuhl in die Höhe, und Frau A. sah nichts mehr. Das ganze Zimmer wurde nun durchsucht und nichts gefunden. Übrigens lag ein Hund am Kamine, der groſse Unzu-

friedenheit bezeigt hätte, wäre eine Katze im Zimmer gewesen, aber er lag ganz ruhig. Um sich völlige Gewissheit zu verschaffen, klingelte Herr A. und schickte nach den Katzen, welche beide im Zimmer der Haushälterin gefunden wurden.

4. Ungefähr einen Monat nach diesem Vorfalle hatte Frau A. eines Tages eine gröfsere, etwas ermüdende Ausfahrt gemacht und safs ungefähr um 11 Uhr abends vor ihrem Toilettenspiegel, um ihr Haar für die Nachtruhe zu ordnen. Ihr Gedankengang war sorglos und träge, aber sie war noch völlig wach. Während ihre Finger in thätiger Bewegung bei dem Lockenwickeln war, stutzte sie plötzlich, da sie im Spiegel die Gestalt eines nahen Verwandten sah, der zu jener Zeit in voller Gesundheit in Schottland lebte. Die Erscheinung ragte über ihrer linken Schulter vor und die Augen derselben begegneten im Spiegel den ihrigen. Sie war in Leichengewänder gehüllt, die, wie gewöhnlich bei Leichen geschieht, um den Kopf und unter dem Kinne dicht zugesteckt waren, und obgleich die Augen offen standen, waren die Züge ernst und starr. Das Gewand war augenscheinlich ein Totenhemd, da Frau A. sogar das punktierte Muster bemerkte, das gewöhnlich in eigener Weise um die Ränder dieses Gewandes gearbeitet wird. Frau A. sagte später, dass sie dabei ein Gefühl hatte, gleich dem, was man sich unter einer Bezauberung denkt, welches sie zwang, eine Zeit lang auf diese traurige Erscheinung zu blicken, die so lebhaft und deutlich war, als irgend ein Spiegelbild eines wirklichen Körpers nur sein kann, und deren Gesicht von dem Kerzenlichte, das vor dem Toilettenspiegel stand, hell beleuchtet wurde. Nach einigen Minuten drehte sich Frau A. um, die wirkliche Gestalt hinter ihrer Schulter zu sehen; aber da war nichts zu sehen; aus dem Spiegel war dieselbe auch verschwunden, als sie wieder nach jener Richtung blickte.

. . . .

7. Am 17. März war Frau A. im Begriffe, zu Bette zu gehen; sie hatte eben ihre Dienerin entlassen und safs ruhig, die Füfse in warmem Wasser haltend. Sie hatte ein ausgezeichnetes Gedächtnis und wiederholte sich eben in Gedanken eine treffliche Stelle der *Edinburgh Review*, als sie bei zufälligem Aufheben der Augen vor sich in einem grofsen Lehnstuhle die Gestalt einer verstorbenen Freundin, der Schwester des Herrn A., sitzen sah. Die Gestalt war, wie gewöhnlich bei Lebzeiten, sehr sauber und

nett gekleidet, trug aber ein Kleid von besonderer Art, wie es Frau A. niemals an ihr gesehen hatte, das aber genau der Beschreibung entsprach, die eine gemeinsame Freundin von der Kleidung der Schwester des Herrn A., bei ihrem letzten Besuche in England, gemacht hatte. Frau A. betrachtete mit besonderer Aufmerksamkeit Kleidung, Miene und Haltung der Gestalt, die in bequemer Stellung in dem Sessel safs uud in einer Hand ein Taschentuch hielt. Frau A. versuchte nun sie anzureden, empfand aber ein Hindernis und innerhalb dreier Minuten war die Erscheinung verschwunden.

Nur eine Minute darauf kam Herr A. in das Zimmer und fand Frau A. zwar ein wenig nervös erregt, aber völlig im Klaren über die täuschende Natur der Erscheinung. Nach ihrer Schilderung hatte dieselbe das ganze lebhafte Kolorit und die volle Wesenheit des Lebens. Sowohl vor dieser als vor anderen Visionen hatte Frau A. während einiger Stunden eine eigentümliche Empfindung in den Augen gehabt, von der sie nach Aufhören der Vision befreit zu sein meinte.

. . . .

9. Am 11. Oktober, als sie in ihrem Wohnzimmer an der einen Seite des Kamins safs, sah sie die Gestalt einer anderen verstorbenen Freundin, die sich von dem Fenster am anderen Ende des Zimmers zu ihr hin bewegte. Dieselbe näherte sich dem Kamine und setzte sich ihr gegenüber auf einen Stuhl. Da gleichzeitig mehrere Personen im Zimmer waren, war ihr vorherrschender Gedanke, wie sie später sagte, die Befürchtung, diese könnten durch ihren stieren Blick ins Leere, dessen sie sich bewusst war, beunruhigt werden und vielleicht glauben, ihr Verstand sei gestört. Unter dem Einflusse dieser Befürchtung erinnerte sie sich einer Geschichte von ähnlicher Wirkung in Ihrem* Werke über Dämonologie, welches sie kürzlich gelesen hatte, und nahm nun ihre ganze moralische Kraft zusammen, um zu versuchen, den Raum vor dem Kamine zu durchschreiten und sich auf denselben Stuhl mit der Gestalt zu setzen. Die Erscheinung blieb vollkommen deutlich, bis sie sich gleichsam auf ihren Schofs setzte; da verschwand dieselbe.

* Sir Walter Scott's, an den Sir David Brewster's *Briefe über natürliche Magie* gerichtet waren.

ZWEITER TEIL.

Ergänzungen.*

1. Über einige bei den Lebensvorgängen auftretende physikalische Erscheinungen.

1. Die Grundlage der Substanz, aus welcher die Körper der Lebewesen hauptsächlich bestehen, ist das sogenannte Protoplasma. Manche Lebewesen bestehen nur aus einem Klümpchen solchen Protoplasmas, sie sind einzellig. Bei den meisten Lebewesen dagegen entstehen durch fortwährende Teilung einer solchen Zelle (Eizelle) eine sehr grosse Anzahl derselben, welche vereinigt bleiben und, indem sie sich in verschiedener Weise verändern, die Gewebe bilden. Aus diesen setzen sich dann wieder die Organe zusammen, durch deren gemeinsame und in einander greifende Thätigkeit das Leben des Ganzen zu stande kommt.

Wegen dieses Aufbaus aus einzelnen Organen pflegt man die zusammengesetzten Lebewesen als Organismen zu bezeichnen. Aber auch die einzelne Zelle, möge sie nun Teil eines zusammengesetzten Wesens sein oder ein selbständiges Leben führen, hat schon eine, uns freilich nicht bekannte aber jedenfalls sehr zusammengesetzte Beschaffenheit, so dass es wohl gerechtfertigt erscheint, wenn auch sie schon für sich häufig als Organismus bezeichnet wird. An solchen frei lebenden Protoplasmaklümpchen,

---

* Diese Ergänzungen, welche einzelne in den vorhergehenden Vorlesungen an verschiedenen Stellen behandelte Gegenstände in etwas eingehenderer Weise, als es dort geschehen ist, behandeln, sind mit fortlaufenden Nummern versehen worden, um auf dieselben verweisen zu können. Wo also in Klammern vgl. No. . . steht, ist die betreffende Nummer der „Ergänzungen“ gemeint. Dagegen ist bei Verweisung auf den Text der Vorlesungen diese mit römischer Zahl und die Unterabteilung mit dem Zeichen § angegeben; z. B. s. Vorlesung VIII. § 4.

z. B. den im Wasser frei lebenden Amoeben, können manche der an den zusammengesetzten Organismen vorkommenden Lebenserscheinungen, wenigstens in ihren wesentlichsten Grundzügen, nachgewiesen werden. Solche Amoeben nehmen fremde Stoffe auf, verändern dieselben so, dass sie zu Bestandteilen ihres Leibes werden, und scheiden unbrauchbare Anteile wieder aus: sie erzeugen in sich Bewegung, sie nehmen Sauerstoff auf und geben Kohlensäure ab u. s. w. Dass sie alles dies können, ist durch die Beschaffenheit ihres Protoplasmas bedingt, über dessen, jedenfalls sehr verwickelte chemische Zusammensetzung wir leider noch vollkommen im Unklaren sind. Wohl aber können wir einiges aussagen über die physikalischen Bedingungen jener Vorgänge, was auch für das Verständnis der Lebenserscheinungen der höheren Tiere von Bedeutung ist.

2. Alle organische Substanz der Lebewesen ist stets reichlich mit Wasser durchtränkt, und dieses Wasser ist für die Lebensvorgänge unentbehrlich. In der That stellen niedre Lebewesen alle Zeichen von Lebensthätigkeit ein, wenn sie austrocknen, und können dieselbe wieder aufnehmen, wenn sie von neuem mit Wasser durchtränkt werden. Man kann sich die Beschaffenheit der lebenden Substanz vorstellen unter dem Bilde eines ganz mit Wasser vollgesognen Schwammes. In diesem Wasser sind allerlei Stoffe aufgelöst, und wenn ein solcher Körper wie eine Amoebe im Wasser lebt, so kann zwischen den Stoffen, welche in diesem Wasser gelöst sind, und jenen, welche das Durchtränkungswasser enthält, ein Austausch stattfinden. Es gelangen Stoffe von aufsen in den Leib des Lebewesens hinein und andre, welche durch den Lebensprozess im Innern desselben erzeugt worden sind, aus demselben heraus. Und das gilt in gleicher Weise für jede Zelle, für jedes Teilchen eines noch so zusammengesetzten Lebewesens; denn jedes dieser Teilchen ist durchtränkt mit mehr oder weniger Wasser und umspült von Wasser, welches als sogenannter Gewebssaft überall zwischen den Bestandteilen der Gewebe vorhanden ist.

3. Die Bewegungserscheinungen, von welchen hier die Rede ist, sind molekulare, d. h. sie gehen in den kleinsten Teilchen vor sich, aus welchen nach der jetzt allgemein verbreiteten Naturauffassung alle Materie besteht. Man fasst sie zusammen unter dem Namen der Diffusion.

Gase oder luftförmige Körper sind solche, deren Moleküle relativ sehr weit von einander entfernt sind und deshalb sich frei und unabhängig von einander bewegen können. Man muss sich dieselben in fortwährender geradliniger Bewegung denken, welche mit um so gröfserer Geschwindigkeit vor sich geht, je höher die Temperatur des Gases ist. Befindet sich eine bestimmte Menge eines solchen Gases in einem Raume mit gasdichten Wandungen eingeschlossen, so treffen in jedem Augenblicke eine Anzahl der Gasmoleküle auf die Wände, werden von denselben wie elastische Bälle zurückgeworfen und gegen einen andern Teil der Wand geschleudert. Sind verschiedene Gase in einem und demselben Raum vorhanden, so dringen ihre Moleküle zwischen einander ein und es kommt zuletzt zu einer vollkommen gleichmäfsigen Mischung derselben. Diesen Fall bezeichnet man als freie Gasdiffusion oder freie Aërodiffusion.

Als einen besonderen Fall dieser freien Gasdiffusion können wir den folgenden betrachten. Es sei A B, eine oben offene, mit der Atmosphäre frei zusammenhängende Röhre. An ihrem geschlossenen Ende B werde fortwährend ein bestimmtes Gas, sagen wir Kohlensäure entwickelt. Dann muss diese Kohlensäure in stetigem, langsamem Diffusionsstrom nach dem offnen Ende der Röhre hin wandern, während Sauerstoff und Stickstoff aus der Atmosphäre in der entgegengesetzten Richtung sich bewegen. Wenn nun der Sauerstoff in dem Mafse, als er nach unten gelangt, fortwährend entfernt wird, so muss offenbar jene Bewegung der Kohlensäure von B nach A und des Sauerstoffs von A nach B fortdauernd vor sich gehen, während die Bewegung des Stickstoffs bald unmerklich werden wird. — Dieser Fall ist derjenige, welcher in den Luftwegen der Lunge stattfindet (vgl. Vorlesung IV, § 9). Bei der Enge der Luftwege ist aber die so durch Diffusion bewirkte Zufuhr von Sauerstoff und die Abführung der Kohlensäure nicht ausreichend, weshalb eine teilweise Erneuerung der in den Luftwegen enthaltenen Luft durch die Atembewegungen unterstützend mitwirkt (Vorlesung IV, § 10 ff. und 20 ff.).

4. Bei den tropfbar-flüssigen Körpern oder den Flüssigkeiten im engeren Sinne findet die Bewegung der Moleküle in viel engeren Grenzen statt als bei den Gasen. Doch tritt

auch bei diesen, wenn zwei Flüssigkeiten, welche mit einander mischbar sind (z. B. Wasser und Alkohol), einander berühren, ein Eindringen der Moleküle jeder Flüssigkeit zwischen die Moleküle der andern ein und diese Mischung hört nicht eher auf, als bis das Gemenge ein vollkommen gleichmäfsiges geworden ist. Man bezeichnet dies als freie Hydrodiffusion.

Dieser Fall ist auch da gegeben, wo es sich um Lösungen fester Körper in Flüssigkeiten handelt, gleichgiltig ob die Lösungsmittel dieselben oder ob es verschiedene seien, vorausgesetzt, dass sie mit einander mischbar sind. Schichten wir z. B. in einem Gefäfse vorsichtig reines destilliertes Wasser über eine Lösung eines Salzes, so dringt das Salz aus der unteren Schicht nach oben in das Wasser und das Wasser in die Salzlösung letztere wird verdünnt, während erstere Salz aufnimmt, bis die Konzentration überall die gleiche ist. Berühren sich zwei Lösungen, welche verschiedene Stoffe aufgelöst enthalten, so wandern die Stoffe aus der einen Lösung in die andre, bis auch hier überall die gleiche Mischung hergestellt ist.*

Dies ist der Fall der Amoebe in ihrem Wassertropfen oder einer Zelle im Gewebssaft. Denn die Amoebe oder Zelle enthält Stoffe, welche nicht in dem umgebenden Wasser vorhanden sind, und umgekehrt. Daher diffundieren die letzteren Stoffe in die Zellsubstanz hinein und die ersteren aus der Zellsubstanz nach aufsen. Und wenn in der Zelle durch chemische Prozesse dieselben Stoffe immer wieder neu erzeugt werden, während diese Stoffe aus dem umgebenden Wasser immer wieder fortgeführt und die ursprünglichen immer wieder ersetzt werden, so muss der Diffusionsvorgang dauernd stattfinden. Für diese Fortschaffung und Zufuhr sorgt in dem Körper der höheren Tiere die Bewegung des Blutes.

5. Kommen Gase und Flüssigkeiten mit einander in Berührung, so findet gleichfalls ein gegenseitiges Durchdringen statt. Ein verhältnismäfsig kleiner Teil der Flüssigkeit löst sich von dem Rest derselben los, wird gasförmig und mischt sich dem Gase bei — die Flüssigkeit verdunstet. Ist der Raum über der Flüssigkeit ein begrenzter, so kann die Verdunstung

* Wenn die auf solche Weise mit einander in Berührung kommenden Stoffe auf einander chemisch wirken, so dass neue Verbindungen entstehen, so werden die Vorgänge dadurch verwickelter.

nur bis zu einem beschränkten Grade erfolgen, nämlich nur so weit, bis der gasförmig gewordene Teil der Flüssigkeit einen ganz bestimmten Druck erreicht hat, welcher umso grösser sein kann, je höher die Temperatur ist. Bei der Siedetemperatur der Flüssigkeit ist dieser Druck gleich dem der Atmosphäre.

In gleicher Weise dringen aber auch die Moleküle des Gases zwischen diejenigen der Flüssigkeiten ein. Man sagt dann, das Gas werde von der Flüssigkeit *absorbiert*. Die Menge des so absorbierten Gases hängt ab:

1) *Von der Natur der Flüssigkeit und des Gases.* Unter sonst gleichen Umständen nimmt jede Flüssigkeit von jedem Gas eine genau bestimmte Menge auf.

2) Von der *Temperatur*. Je höher die Temperatur, desto geringer ist die Absorption. Bei der Siedetemperatur einer Flüssigkeit ist die Absorption gleich Null.

3) Von dem *Druck*, unter welchem das Gas steht. Die absorbierte *Gasmenge* ist dem Drucke *direkt proportional*. Da die Gase kompressibel sind und nach dem sogenannten *Boyle*'schen oder *Mariotte*'schen Gesetz das Volum einer bestimmten Gasmenge dem Druck umgekehrt proportional ist, so kann man auch sagen: das absorbierte *Gasvolum* ist vom Druck *unabhängig*.

Das Volum eines Gases, welches bei der Temperatur 0° von der *Volumseinheit* einer Flüssigkeit absorbiert wird, nennt man den *Absorptionskoëffizienten* des Gases für diese Flüssigkeit. Für destilliertes Wasser ist der Absorptionskoëffizient von

Sauerstoff	=	0,041
Stickstoff	=	0,020
Kohlensäure		1,797
Ammoniak	=	1050,000

Kommt ein *Gasgemenge* mit einer Flüssigkeit in Berührung, so wird jedes Gas für sich so absorbiert, als wäre es allein vorhanden. So stellt z. B. die atmosphärische Luft (wenn wir von den geringen Mengen Kohlensäure, Ammoniak etc. absehen, welche in ihr vorhanden zu sein pflegen) ein Gemenge von rund vier Teilen Stickstoff und einem Teil Sauerstoff dar. Denken wir uns aus einem bestimmten Volum atmosphärischer Luft allen Stickstoff fortgeschafft, so würde der Sauerstoff allein übrig

bleiben, aber auf das ganze Volum sich verteilen und darum auch nur $^1/_5$ des Drucks ausüben. In gleicher Weise würde der Stickstoff allein $^4/_5$ des Drucks der Gesamtluft ausüben. In dem Gemenge kommt also von dem Gesamtdruck $^4/_5$ auf den Stickstoff und $^1/_5$ auf den Sauerstoff. Diesen Anteil eines jeden Gases in dem Gemenge nennt man seinen Partialdruck. Lässt man daher atmosphärische Luft von Wasser absorbieren, so nimmt dasselbe auf:

$$^4/_5 \cdot 0{,}02 = 0{,}016 \text{ Stickstoff}$$
$$\text{und } ^1/_5 \cdot 0{,}04 = 0{,}008 \text{ Sauerstoff,}$$

so dass also die im Wasser absorbierte Luft relativ reicher an Sauerstoff ist als die Atmosphäre, indem sie rund aus zwei Teilen Stickstoff und einem Teil Sauerstoff besteht. Das ist offenbar für Tiere, welche im Wasser atmen (Fische z. B.), von Wichtigkeit.

6. Gase und feste Körper wirken nur wenig auf einander. An der Oberfläche der letzteren wird das Gas etwas verdichtet. Ist die Oberfläche sehr grofs, wie es bei porösen Körpern und bei feinen Pulvern der Fall ist, dann kann die verdichtete Gasmenge sehr beträchtlich sein. Doch hat diese Beziehung der Gase zu den festen Körpern physiologisch gar keine Bedeutung weil die festen Körper stets von Flüssigkeit durchtränkt sind.

Diese schon eingangs erwähnte Durchtränkung ist dagegen um so bedeutsamer. Ein organischer Körper nimmt Flüssigkeit nicht blofs in groben Poren auf wie ein Schwamm, sondern dieselbe dringt sozusagen zwischen die Moleküle der festen Substanz selbst und drängt diese auseinander. Das hat zunächst zur Folge eine bedeutende Volumzunahme, welche man als Quellung bezeichnet, sodann aber eine eigentümliche Beschaffenheit der organischen Substanz, deren Aggregatzustand man, wenigstens bei den wasserreicheren Teilen des Organismus, gleichsam als eine Mittelstufe zwischen dem festen und dem flüssigen ansehen kann.

In einem solchen, von Wasser durchtränkten organischen Gewebe können in der That, wie wir schon gesehen haben, die Diffusionsvorgänge ganz wie in Flüssigkeiten selbst vor sich gehen Wenn aber, wie dies so oft im Organismus, der Fall ist die organische Substanz in der Form einer dünnen, von Wasser durchtränkten Haut oder Membran die Grenze verschiedener Flüssigkeiten bildet (z. B. als Gefässhaut der Kapillaren zwischen

Blut und Gewebssaft) oder zwischen Flüssigkeiten und Gasen (wie es in der Lunge der Fall ist), dann werden die Diffusionsvorgänge einigermaſsen verändert.

7. In dem letzterwähnten Falle ist die Diffusion der Gase abhängig von dem Absorptionskoëffizienten derselben in Bezug auf die in der Membran enthaltene Flüssigkeit. Füllt man z. B. eine mit Wasser durchtränkte Schweinsblase mit Luft, aber so, dass sie noch schlaff ist, und legt dieselbe in ein Kohlensäure enthaltendes Glasgefäſs, so dringt Kohlensäure in die Blase ein und Luft, d. h. Sauerstoff und Stickstoff, aus derselben aus. Weil aber Kohlensäure einen viel höheren Absorptionskoëffizienten hat als die beiden andern Gase, so geht ihre Wanderung viel schneller vor sich. Man sieht deshalb die Blase anschwellen, bis ihre Spannung so groſs wird, dass sie weiterer Ausdehnung widerstrebt (s. oben S. 82).

In diesem Versuch spielt die feste Substanz der Blase eigentlich nur eine untergeordnete Rolle. Sie dient nur dazu, dem Wasser, von welchem sie durchtränkt ist, Form und Gestalt zu geben. In der That kann man den gleichen Versuch auch mit einer nur aus Wasser bestehenden Haut (einer Seifenblase) anstellen, welche aber freilich wegen ihrer Zartheit sehr bald gesprengt wird. Das feste Fasergerüst, zwischen dessen Zügen das Wasser enthalten ist, kann den Diffusionsprozess etwas verlangsamen, indem es den Gesamtquerschnitt des Wassers, durch welchen die Diffusionsbewegung der Gase stattfindet, etwas verkleinert.

8. Bildet eine solche Membran die Grenze zwischen zwei Flüssigkeiten, so ist das Verhältnis ein ganz ähnliches. Die Diffusion findet sozusagen nur durch das in den Zwischenräumen der Membran enthaltene Wasser statt. Wenn aber die Flüssigkeiten Lösungen fester Stoffe sind, so gehen diese Stoffe nicht gleich leicht durch die Membranen hindurch, ja manche Stoffe (z. B. Eiweiſs) so gut wie gar nicht. Man nennt deshalb solche Stoffe schwer diffusibel. Man kann sich eine Vorstellung von diesem Verhältnis machen, wenn man sich die Membran wie ein Sieb mit Maschen von einer gewissen durchschnittlichen Gröſse vorstellt und die im Wasser gelösten Teile als kleine Körperchen, welche natürlich nur dann durch das Sieb hindurchtreten können, wenn sie nicht gröſser sind als die Durchmesser der Maschen.

Eine solche Membran kann aber noch in andrer Weise die Diffusionsvorgänge beeinflussen. In ein Gefäſs, in welchem Wasser enthalten ist, tauche man ein beiderseits offnes, am untern Ende mit einer Blase verschlossenes Rohr, welches eine wässrige Lösung von Kupfersulfat enthält. Wir wählen dieses Salz, weil es wegen seiner Farbe den Diffusionsvorgang zu verfolgen gestattet. Sofort beginnt die Diffusion; man sieht, wie das Salz in das Wasser übertritt, welches dadurch blau gefärbt wird. Gleichzeitig aber tritt Wasser durch die Membran in die Röhre, wodurch das Niveau der Flüssigkeit in letzterer steigt. Auf diese Art können wir feststellen, wie viel Wasser in einer bestimmten Zeit in der einen und wieviel von dem Salz in der anderen Richtung wandert. Solche Versuche zeigen, dass verschiedene Stoffe mit sehr ungleichen Geschwindigkeiten durch Membranen hindurchtreten und dass insbesondre für die schwer diffusiblen Substanzen die durch die Membranen hindurchgehenden Wassermengen verhältnismäſsig sehr groſs sind.

9. Indem die Flüssigkeitsmenge in dem Rohr zunimmt und steigt, übt sie auf die Membran einen immer gröſser werdenden Druck aus. Trotzdem schreitet die Diffusion fort, bis dieser Druck eine ziemlich beträchtliche Gröſse erreicht hat. Dann aber hört das weitere Steigen auf, weil unter dem hohen Druck die Flüssigkeit durch die Membran hindurch gepresst wird. Diesen Vorgang bezeichnet man als Filtration.

Die Filtration durch tierische oder pflanzliche Membranen ist aber nicht gleich derjenigen, welche man bei porösen Körpern, z. B. gewöhnlichem Filtrirpapier, beobachtet. Ein Papierfilter lässt alles durch, was flüssig ist, und hält nur feste, ungelöste Stoffe zurück. Gieſst man eine Lösung auf das Filter, z. B. eine solche von Kochsalz, so ist das, was durchläuft, durchaus übereinstimmend mit dem Aufgegossenen. Filtriert man aber dieselbe Kochsalzauflösung durch eine tierische Membran, z. B. eine Schweinsblase, so geht eine Lösung durch das Filter von andrer Konzentration als die, welche auf dem Filter zurückbleibt. Und wenn man zwei verschiedene Salze in bestimmtem Verhältnis in demselben Wasser löst und diese Lösung filtriert, so gehen die beiden Salze mit ungleichen Geschwindigkeiten hindurch, so dass sie in einem anderen Mischungsverhältnis in dem Filtrat sich vorfinden, als in der ursprünglichen Lösung. Dieser Unter-

schied wird noch auffälliger, wenn man ein Gemenge von leicht und schwer diffusiblen Salzen filtriert, z. B. von Kochsalz und Eiweiſs. Es kann dann vorkommen, dass von letzterem gar nichts oder nur Spuren hindurch gehen, dass also das Filtrat nur Kochsalz, aber kein Eiweiss enthält.

10. Diese Eigenschaften der Membranen sind offenbar von groſser Bedeutung für die feineren Vorgänge in allen Geweben und insbesondere in den Drüsen. Das Blut steht in den Kapillargefäſsen unter einem ziemlich hohen Druck; es muss daher durch die zarte Kapillarwand hindurch sowohl Diffusion zwischen dem Blut einerseits und dem Gewebssaft andrerseits stattfinden, wodurch das Blut Stoffe abgiebt und andre aufnimmt, als auch Filtration, durch welche ein Teil der Blutflüssigkeit aus den Gefäſsen austritt. Aber dieser Teil wird nicht immer dieselbe Zusammensetzung haben wie das Blutplasma, und seine Zusammensetzung kann auch an verschiedenen Stellen verschieden sein wenn die Kapillarwandungen ungleiche Beschaffenheit haben Wir können es sonach verstehen, warum z. B. in dem Glomerulus der Nieren kein Eiweiſs austritt. Aber freilich sind die Verhältnisse viel zu verwickelt, um uns mehr als eine solche oberflächliche Einsicht zu gestatten. Und namentlich muss darauf hingewiesen werden, dass in den Drüsen den Drüsenepithelien noch besondre Kräfte innewohnen, vermöge deren sie nicht nur im stande sind, gewisse Blutbestandteile in gröſserer Menge oder ausschlieſslich an sich zu ziehen, sondern auch diese chemisch zu verändern, so dass neue Stoffe entstehen, welche im Blute gar nicht vorhanden waren. (Vgl. Vorlesung V, § 9 ff).

2. Über die Zusammensetzung des Tierkörpers.

11. Die feste, mit Wasser durchtränkte Substanz, aus welcher das Protoplasma besteht, hat eine sehr verwickelte Zusammensetzung; auſserdem sind in dem sie durchtränkenden Wasser allerlei Substanzen gelöst. Und diese Substanzen erleiden während des Lebensprozesses fortwährend chemische Veränderungen. Zum Verständnis der Lebensvorgänge ist es daher notwendig, die chemischen Verbindungen, welche in den Geweben, Gewebssäften, Ausscheidungen u. s. w., sowie in denjenigen Stoffen, welche als Nahrung aufgenommen werden, kennen zu lernen.

12. Nicht alles, was in einem Organismus angetroffen wird, ist deswegen schon ohne weiteres als organisch zu bezeichnen. Da die Organismen von allen Seiten von unbelebten Gegenständen umgeben sind, da diese in sie eindringen (z. B. mit der Atmungsluft, der Nahrung), so enthalten die Lebewesen neben den organischen Stoffen immer auch etwas unorganische Bestandteile. Die Gesamtmenge derselben (abgesehen vom Wasser) im menschlichen Körper kann etwa auf 5% des Körpergewichts geschätzt werden. Es sind hauptsächlich solche Stoffe, welche auch in der unorganischen Natur sehr verbreitet sind und welche mit der Nahrung, insbesondere auch mit dem Trinkwasser fortwährend in den Körper eingeführt werden. Einfache chemische Körper (Elemente) findet man nur wenige. Sauerstoff und Stickstoff sind natürlich in der Luft der Atmungswege vorhanden, kommen auch mit dem Trinkwasser, in welchem sie absorbiert enthalten sind, und mit dem Speichel gemischt häufig in den Darmkanal. Auch im Blut und in den Gewebssäften sind sie absorbiert enthalten. Im Darm findet sich auch häufig Wasserstoff, welcher daselbst durch eine Art von Gärung aus den Speisen entsteht. Sonst findet man nur chemische Verbindungen: Von Gasen Kohlensäure (im Blut und den Gewebssäften absorbiert), von andern unorganischen Verbindungen die folgenden:

Anorganische Verbindungen: Wasser H_2O; Salzsäure HCl (im Magensaft bis zu 1% enthalten), Ammoniak NH_3 (in geringen Mengen im Blut, im Harn, in der Ausatmungsluft), Schwefelwasserstoff SH_2 (in den Darmgasen), Chlornatrium oder Kochsalz $NaCl$ (im Blut und in allen Gewebssäften, im Harn), Chlorkalium KCl (im Blut namentlich in den Blutkörperchen, in den Muskeln, der Milch, dem Harn), Chlorammonium oder Salmiak NH_4Cl (im Harn), Chlorcalcium $CaCl_2$ (im Harn, vielleicht auch in den Knochen), Fluorcalcium $CaFl_2$ (in den Knochen und Zähnen), Calciumsulfat $CaSO_4$ Natriumsulfat Na_2SO_4 und Kaliumsulfat K_2SO_4 (in allen Gewebssäften), Mononatriumphosphat NaH_2PO_4 (im Harn), Dinatriumphosphat Na_2HPO_4 und Trinatriumphosphat Na_3PO_4 (in allen Gewebssäften), Mono-Di- und Trikaliumphosphat KH_2PO_4, K_2HPO_4 und K_3PO_4 (ebenso), primäres, sekundäres Di- und Tricalciumphosphat $Ca(H_2PO_4)_2, CaHPO_4$,

$Ca_3(PO_4)_2$ (namentlich letzteres reichlich in den Knochen), Magnesiumphosphat $Mg_3(PO_4)_2$ (in den Knochen), Ammoniummagnesiumphosphat NH_4MgPO_4 (im Harn). Zweifelhaft: Kieselsäure $Si(OH)_4$.

13. Die Grundlage der eigentlichen Gewebssubstanz, das sogenannte Protoplasma, ist keine einheitliche chemische Verbindung, sondern ein Gemenge vieler verschiedenartiger Körper. Charakteristisch für dasselbe ist sein grofser Gehalt an Wasser. Der Wassergehalt der Gewebe ist sehr verschieden, am wenigsten enthalten die Knochen (nicht ganz $10^0/_0$), als Durchschnittsgehalt des ganzen Körpers können etwa $72^0/_0$ angenommen werden. Ein Teil dieses Wassers kann durch Pressen aus den Geweben entfernt, der Rest aber kann nur durch Trocknen der Gewebe bei höherer Temperatur (110^0) entfernt werden, wobei alle in ihm gelösten Stoffe zurückbleiben. Durch den Gewichtsverlust beim Trocknen erfahren wir die Menge des Imbibitionswassers.

14. Die mannigfachen organischen Verbindungen, welche in dem Protoplasma und, insoweit sie löslich sind, auch in dem Imbibitionswasser vorkommen, so verschieden sie auch untereinander sein mögen, haben doch eine gemeinsame und deshalb charakteristische Eigenschaft: sie enthalten immer Kohlenstoff. So charakteristisch ist dies, dass es in der Chemie Gebrauch geworden ist, die Kohlenstoffverbindungen schlechtweg als organische von allen andern als unorganischen abzusondern. Doch sind manche Kohlenstoffverbindungen auch in der unorganischen Natur sehr verbreitet, z. B. die schon erwähnte Kohlensäure und ihre Salze, andrerseits kommen viele der sogenannten organischen Körper, von denen die Chemiker täglich neue darstellen, in Lebewesen niemals, viele in der Natur überhaupt nicht vor, sondern sind Produkte der chemischen Bildungskunst. Von denen, welche wir im Organismus antreffen, können wir wieder verschiedene Gruppen unterscheiden.

Als erste Gruppe können wir diejenigen bezeichnen, welche als wesentliche Bestandteile des Protoplasmas angesehen werden müssen, weil wir ihnen überall begegnen, wo wir lebendes Protoplasma untersuchen. Das ist zwar insofern mit grofsen Schwierigkeiten verbunden, weil gerade die chemische Untersuchung nicht ohne tötliche Einwirkung auf das lebende Proto-

plasma abläuft. Doch können immerhin gewisse Stoffe als primäre oder wesentliche Bestandteile des letzteren bezeichnet werden.

In die zweite, secundäre Gruppe gehören solche Stoffe, welche nicht in allen Lebewesen vorkommen, sondern nur in einzelnen. Insbesondre giebt es solche Stoffe, welche in Pflanzen häufig oder regelmäfsig vorhanden sind, im Tierreich aber nur dann angetroffen werden, wenn sie mit pflanzlicher Nahrung in den Tierleib eingeführt werden. Wir finden sie alsdann zunächst im Darmkanal, aus dem sie durch Resorption in die eigentliche Leibessubstanz gelangen können. Doch geschieht dies nicht selten erst, nachdem sie eine chemische Umwandlung erfahren haben, so dass also statt ihrer andre Stoffe in den Tierleib übergehen. Beispielsweise kommt Stärke sehr verbreitet im Pflanzenreich vor und wird vielfach von Tieren gegessen; im Darm aber entsteht aus der Stärke Dextrin und Dextrose. Letztere wird resorbiert und findet sich dann im Blut sowie in der Leber und wird in letzterer zum Teil in Glykogen umgesetzt, welches schliefslich als das verwandelte Endprodukt der Stärke, als ihr Ersatz im Tierkörper erscheint. (Vgl. Vorlesung VI und No. 18.)

Als dritte Gruppe endlich können wir diejenigen Stoffe bezeichnen, welche aus den Stoffen der ersten, bzw. der zweiten Gruppe innerhalb des Tierkörpers entstehen. Der Lebensvorgang ist mit einer fortwährenden Oxydation der Gewebssubstanzen verbunden, wodurch Wärme und mechanische Arbeit entsteht. Die Produkte dieser Oxydation erscheinen zunächst in dem Gewebssaft, gelangen von diesem ins Blut und von da in die Ausscheidungsorgane (Lunge, Nieren, Hautdrüsen), wo sie den Körper verlassen, während das Blut den Organen Ersatzstoffe, die es im Darmkanal aufgenommen hat, zuführt. Diesen doppelten chemischen Prozess des Abbruchs und Wiederaufbaus der Gewebe nennen wir Stoffwechsel. Zu seinem Verständnis ist also die Kenntnis der dabei in Betracht kommenden chemischen Stoffe notwendig.

15. Neben dieser sozusagen physiologischen Einteilung der Stoffe können wir noch eine rein chemische vornehmen, welche nicht die Art ihrer Entstehung, sondern ihre Zusammensetzung betrachtet. Sämtliche organischen Stoffe enthalten, wie wir gesehen haben, Kohlenstoff. Nun ist dieser Kohlenstoff entweder nur mit Sauerstoff und Wasserstoff verbunden oder (wenn wir von Schwefel, Phosphor und andern Elementen absehen,

welche in geringeren Mengen auch noch in die Verbindung eingehen können) außerdem noch mit Stickstoff. Danach unterscheiden wir die zwei Gruppen der

stickstofffreien
und stickstoffhaltigen } organischen Verbindungen.

Von diesen ist die Gruppe der stickstoffhaltigen für den Aufbau der Gewebe die wichtigere. Die andere Gruppe ist in den Geweben meist in geringerer Menge vorhanden. Aber sie fehlt doch niemals, wird auch durch den Nahrungsstrom den Geweben immerfort zugeführt und hat durch ihre Oxydation einen erheblichen Anteil an der Wärmeproduktion und Arbeitsleistung.

Aus den stickstofffreien Substanzen entsteht bei ihrer Oxydation im wesentlichen nur Kohlensäure und Wasser. Bei der Oxydation der stickstoffhaltigen Stoffe aber findet in der Regel eine Spaltung statt. Ein Teil, welcher den gesamten Stickstoff enthält, geht in Verbindung mit etwas Sauerstoff fort, während aus dem Rest gleichfalls Kohlensäure und Wasser gebildet wird.

16. Die mannigfaltigen organischen Stoffe, welche in den Organismen vorkommen und alle die, welche die Chemiker sonst noch dargestellt haben, lassen sich in ihrem Aufbau auf einfachere Verbindungen zurückführen, von denen folgende zwei für unsre Betrachtungen die wichtigsten sind:

CH_4, Methan oder Grubengas, ein farbloses, geruch- und geschmackloses Gas, welches beim Entzünden mit schwach leuchtender Flamme brennt, mit Luft oder Sauerstoff gemischt ein explosibles Gemenge giebt und die Ursache der „schlagenden Wetter“ in den Kohlenbergwerken bildet.

NH_3, Ammoniak, ein stark riechendes, farbloses Gas, in Wasser sehr leicht absorbierbar (Vgl. No. 5).

Im Grubengas ist ein Kohlenstoffatom mit vier Atomen Wasserstoff, im Ammoniak ist ein Atom Stickstoff mit drei Atomen Wasserstoff verbunden. Wir wissen ferner, dass sich ein Atom Sauerstoff mit zwei Atomen Wasserstoff zu Wasser H_2O, dagegen ein Atom Chlor mit einem Atom Wasserstoff zu Chlorwasserstoff ClH verbindet.

Wir bezeichnen deshalb Wasserstoff (und ebenso Chlor) als

ein einwertiges Element; dagegen ist Sauerstoff zweiwertig. Stickstoff dreiwertig und Kohlenstoff vierwertig.

Einwertige Elemente sind: *H, Cl, Br, J, Fl, K, Na, Li, Ag.*

Zweiwertig sind: *O, S, Ba, Ca, Mg, Fe.**

Dreiwertig sind: *N, P.*

Vierwertig sind: *C, Si.*

In der Verbindung CH_4 ist das Kohlenstoffatom durch die vier Affinitäten, welche wir ihm zuschreiben, mit den vier einzelnen Affinitäten von vier Wasserstoffatomen verbunden. An die Stelle eines jeden dieser Wasserstoffatome kann aber auch irgend ein anderes einwertiges Atom treten. So giebt es z. B. folgende Verbindungen:

CH_4	$CH_3\,Cl$	$CH_2\,Cl_2$	$CH\,Cl_3$	$C\,Cl_4$
Methan oder Grubengas	(Monochlormethan) Einfach Chlorkohlenstoff	(Dichlormethan) Zweifach Chlorkohlenstoff	(Trichlormethan) Dreifach Chlorkohlenstoff (Chloroform)	Vierfach Chlorkohlenstoff.

Die Verbindung $CH_3\,Cl$ kann man sich zerlegt denken in die Bestandteile CH_3 und Cl. Von diesen ist der eine (Cl) ein einwertiges Element, der andre (CH_3) ist selbst schon zusammengesetzt, spielt aber in der Verbindung ganz die Rolle eines einwertigen Elements. Solche Atomgruppen, bei denen noch nicht alle Affinitäten befriedigt sind, und die deshalb wie die Elemente mit andern Elementen oder andern Atomgruppen Verbindungen eingehen können, nennt man Radikale. CH'_3 ist demnach ein einwertiges Radikal; es wird als Methyl bezeichnet. Entsprechend wäre CH_2'' (Methylen) ein zweiwertiges, CH''' (Methenyl) ein dreiwertiges Radikal, was wir durch die Anzahl der angefügten Striche andeuten.

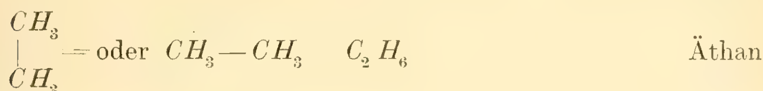
Durch Verbindung von zwei Methylradikalen CH_3 erhalten wir $CH_3 - CH_3$ $C_2\,H_6$ oder Äthan. Auch im Äthan kann jedes Atom H durch ein andres einwertiges Atom oder einwertiges Radikal ersetzt werden. Nehmen wir dem Äthan ein Atom Wasserstoff, so erhalten wir das einwertige Radikal $C_2\,H_5$ oder $CH_3 - CH_2$ (Äthyl), welches sich wieder mit dem einwertigen Radikal Methyl verbinden kann zu $CH_3 - CH_2 - CH_3$ (Propan

* Anm. Die im menschlichen Körper nicht vorkommenden Elemente sind fortgelassen. Manche Elemente können auch zwei- oder vierwertig, manche drei- und fünfwertig sein.

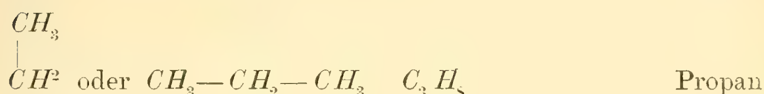
u. s. f. Wir erhalten so eine fortlaufende Reihe von Kohlenstoff-Wasserstoffverbindungen, sogenannten Kohlenwasserstoffen.



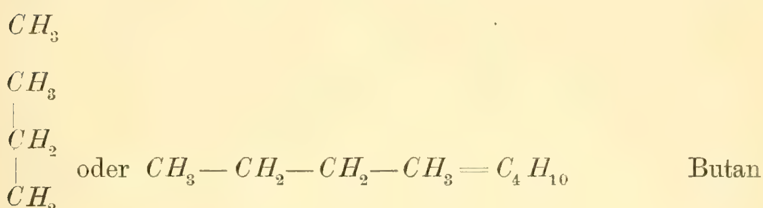
CH_4 Methan



CH_3 | CH_3 = oder $CH_3—CH_3$ C_2H_6 Äthan



CH_3 | CH^2 | CH_3 oder $CH_3—CH_2—CH_3$ C_3H_8 Propan



CH_3 | CH_2 | CH_2 | CH_3 oder $CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 = C_4H_{10}$ Butan



u. s. f. Die erste und die zweite Schreibweise dieser Formeln (welche sich nicht von einander unterscheiden, da es gleichgiltig ist, ob wir die einzelnen Teile vertikal untereinander oder horizontal nebeneinander hinschreiben) sollen die Art, wie die einzelnen Kohlen- und Wasserstoffatome mit einander verbunden sind, darstellen. Man nennt sie daher rationelle Formeln oder Konstitutionsformeln. In der dritten Schreibweise dagegen ist nur summarisch angegeben, wieviel Kohlenstoff- und wieviel Wasserstoffatome in einem Molekül der Verbindung enthalten sind. Man nennt sie empirische Formeln. Die empirischen Formeln ergeben sich aus der Elementaranalyse der Körper. Die rationellen Formeln findet man durch Untersuchung der Eigenschaften der Körper, namentlich ihrer Spaltungsprodukte.*

* Zusammengesetzte Verbindungen lassen sich in einfachere zerlegen oder spalten; umgekehrt kann man einfachere Verbindungen durch geeignete Mittel zu zusammengesetzteren vereinigen. Letzteres nennt man Synthese, ersteres Spaltung oder auch Analyse. Durch Untersuchung der Spaltungsprodukte erlangt man eine Vorstellung über die Konstitution einer zusammengesetzten Verbindung, welche noch befestigt und gesichert wird, wenn man die zusammengesetztere Verbindung aus den einfacheren synthetisch darzustellen vermag.

Es ist eine der wesentlichsten Aufgaben der wissenschaftlichen Chemie, die rationellen Formeln der Verbindungen aufzustellen und zu begründen.

Aus jedem der Kohlenwasserstoffe, deren vier einfachste wir angeführt haben, lassen sich durch Einführung neuer Elemente oder Radikale andre Verbindungen ableiten, von denen die wichtigsten, im menschlichen Körper vorkommenden, später aufgezählt werden sollen.

In ähnlicher Weise lassen sich aus dem Ammoniak NH_3 erstens das einwertige Radikal $NH_2{}'$ (Amid) und zweitens das zweiwertige Radikal NH'' (Imid) ableiten. Es giebt aber auch Verbindungen, in welchen der Stickstoff als fünfwertig angesehen werden muss, und aus diesen lässt sich das einwertige Radikal $NH_4{}'$ (Ammonium) ableiten. Indem diese Radikale mit den Radikalen der Kohlenwasserstoffe in Verbindung treten, entstehen die stickstoffhaltigen organischen Verbindungen.

Aus der Verbindung $H—O—H$ oder H_2O (Wasser) leitet sich ab das einwertige Radikal HO' (Hydroxyl); indem dieses an die Stelle eines oder mehrerer H-atome der Kohlenwasserstoffe tritt, entstehen Verbindungen, welche man Alkohole nennt. Je nach der Zahl der Hydroxylgruppen unterscheidet man ein-, zwei- oder mehratomige Alkohole; z. B. $CH_3 . OH$ (Methylalkohol oder Holzgeist); $CH_3 . CH_2 . OH$ (Äthylalkohol oder Weingeist); $CH_3 . CH_2 . CH_2 . OH$ (normaler Propylalkohol) und $CH_3 . CH . OH . CH_3$ (sekundärer Propylalkohol). Alle diese sind einatomig. Die beiden letztgenannten sind isomer, d. h. sie enthalten die gleiche Anzahl von C- und H-atomen, unterscheiden sich aber durch die Anordnung der Atome, da bei dem primären die Hydroxylgruppe dem einen Endglied, bei dem sekundären dem Mittelgliede angehört. Bei den höheren Gliedern der Kohlenwasserstoffe sind noch mehr Verschiedenheiten der Anordnung, d. h. Isomerien, möglich.

Durch Oxydation der Alkohole entstehen die Säuren, in welchen die Atomgruppe $CH_2 . OH$ in $COOH$ (Carboxyl) verwandelt ist. Je nach der Anzahl der Carboxylgruppen unterscheidet man ein- oder mehrbasische Säuren. Das H-atom der Carboxylgruppe wird sehr leicht durch Metallatome oder die ihnen analoge Ammoniumgruppe NH_4 ersetzt; die so entstehenden

Verbindungen heifsen Salze. Bei mehrbasischen Säuren sind mehrere Arten von Salzen möglich.*

Beispiele einfacher organischer Säuren sind: $H\,COOH$. (Ameisensäure); $CH_3.COOH$ (Essigsäure); $CH_3.CH_2.COOH$ (Propionsäure); $HO\,COOH$ (Kohlensäure — zweibasisch).

Zwischen den Alkoholen und Säuren stehen die Aldehyde, bei welchen die Atomgruppe CH_2OH in CHO übergegangen ist. Beispiele: $H.CHO$ (Methyl- oder Formaldehyd); $CH_3.CHO$ (Acetaldehyd).

Ketone nennt man Verbindungen, in denen zwei einwertige Kohlenwasserstoffradikale durch das zweiwertige Radikal CO' mit einander verbunden sind. Beispiele: $CH_3.CO.CH_3$ (Aceton, Dimethylketon); $CH_3.CO.C_2H_5$ (Methyläthylketon).

Werden zwei Alkohol- oder zwei Säureradikale durch das zweiwertige Atom O miteinander verbunden, so nennt man die Verbindungen (Alkohol- oder Säure-) Anhydride. Verbindet ein O-atom verschiedenartige, also Alkohol- und Säureradikale, so nennt man die Verbindungen Äther oder Ester.

17. Von stickstofffreien Verbindungen, welche im Körper vorkommen, wären zu nennen: Kohlensäure (absorbiert im Blut und den Gewebssäften) und ihre Salze: saures Natriumcarbonat $NaHCO_3$ und neutrales Natriumcarbonat (Soda) Na_2CO_3, Kaliumcarbonat $KHCO_3$ und Dikaliumcarbonat (Pottasche) K_2CO_3, Calciumcarbonat $CaCO_3$ und Calciumbicarbonat $Ca(HCO_3)_2$, Magnesiumcarbonat $MgCO_3$ (letzteres besonders in den Knochen).

Oxalsäure $\begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}$ in verschiedenen Salzen, besonders als Calciumoxalat CaC_2O_4 im Harn vorkommend; Bernsteinsäure $\begin{matrix} CH_2.COOH \\ | \\ CH_2.COOH \end{matrix}$ in verschiedenen Salzen, aber nur in geringen Mengen; die Milchsäure in drei Modifikationen: Fleischmilchsäure oder α-Oxypropionsäure $CH_3—CH.OH—COOH$

* Wenn Säuren mit zweiwertigen Metallen zu Salzen zusammentreten, so dienen entweder 2 Moleküle einer einbasischen oder ein Molekül einer zweibasischen Säure zur Sättigung eines Metallatoms. Vgl. die Verzeichnisse in No. 12 und No. 17.

in den Muskeln und im Harn, und die nur geometrisch, d. h. durch räumlich abweichende Atomanordnung von ihr verschiedene, Gärungsmilchsäure (welche durch Gärung aus dem Milchzucker der Milch entsteht), im Magen und Darm, endlich in sehr geringen Mengen die β-Oxypropionsäure $CH_2OH.CH_2.COOH$ gleichfalls in den Muskeln.

Fettsäuren. Jedem Kohlenwasserstoff entspricht eine oder (bei den zusammengesetzten) mehrere Säuren. Die wichtigsten sind:

Ameisensäure	$H.COOH$	Myristinsäure	$C_{13}H_{27}.COOH$
Essigsäure	$CH_3.COOH$	Palmitinsäure	$C_{15}H_{31}.COOH$
Propionsäure	$C_2H_5.COOH$	Margarinsäure	$C_{16}H_{33}.COOH$
Buttersäure	$C_3H_7.COOH$	Stearinsäure	$C_{17}H_{35}.COOH$
Capronsäure	$C_5H_{11}.COOH$		
Caprylsäure	$C_7H_{15}.COOH$		

Einige von ihnen kommen im freien Zustande, aber nur in geringen Mengen, im Hauttalg, im Schweiſs (?), zuweilen in Spuren in der Milch vor. An Alkalien gebunden bilden sie die Seifen; solche kommen, gleichfalls in geringen Mengen, im Darmkanal, im Chylus und Blut vor. Sehr wichtig aber sind die Glycerinester der Fettsäuren, die als neutrale Fette bezeichnet werden und im Tier- und Pflanzenreich sehr verbreitet sind. Glycerin ist ein dreiatomiger Alkohol $CH_2OH—CHOH—CH_2OH$. Es giebt ebensoviele Fette, als es Fettsäuren giebt. Man findet sie, meistens sehr viele gemischt, in der Milch, im Chylus, im Blut, in allen Geweben, besonders reichlich im Fettgewebe, wie es unter der Haut, im Mesenterium und an andern Orten zuweilen in groſser Masse angehäuft ist.

Den Fettsäuren nahe stehen die Ölsäuren, welche gleichfalls mit dem Glycerin den Neutralfetten analoge Ester bilden. Am häufigsten ist das Olein oder Elain, durch seine weichere Beschaffenheit ausgezeichnet, so dass bei reichlichem Oleingehalt die Fettgemenge weich, butterartig oder selbst flüssig werden.

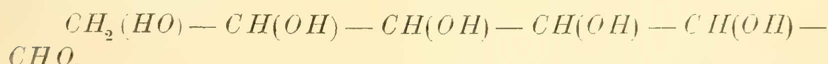
Zu den Alkoholen gehört wahrscheinlich auch das Cholesterin (empirische Formel $C_{26}H_{43}OH + H_2O$), ein im äussern Ansehen den Fetten ähnlicher Körper, krystallisiert in rhombischen Plättchen, unlöslich in Wasser, löslich in heiſsem Alkohol, Äther, Chloroform, findet sich in der Galle, im Nervengewebe, in geringen Mengen im Blut. Cholesterinfette, d. h. Ester der Fett-

säuren mit Cholesterin statt mit Glycerin bilden das Lanolin, welches in den Hautabsonderungen vorkommt.

Die Fette kommen zwar in gröfserer oder geringerer Menge immer im Tierkörper vor, sie spielen aber als Bestandteile der Nahrung, als Nahrungsstoffe (vgl. Vorlesung VI.) eine noch viel wichtigere Rolle. Denn ein grofser Teil der mit der Nahrung eingeführten Fette wird häufig innerhalb des Organismus schnell verbrannt und dient so als eine der Hauptquellen der Wärme- und Arbeitsleistung. Deshalb können sie sich nur dann in gröfserer Menge anhäufen, wenn sie im Überschuss eingeführt werden oder wenn ihre Ansammlung durch die reichliche Anwesenheit andrer leicht verbrennlicher Stoffe (Zucker, s. unten) begünstigt wird. Ob auch aus anderen Stoffen durch chemische Umsetzung im Tierkörper Fett entstehen kann, ist, wenn auch in hohem Grade wahrscheinlich, doch noch nicht sicher erwiesen.

18. Das Gleiche wie von den Fetten gilt in noch viel höherem Grade von einer anderen Gruppe von stickstofffreien Verbindungen, welche man unter dem Namen Kohlenhydrate zusammenfasst. Einige von ihnen kommen stets im Tierkörper vor, andre sind im Pflanzenreich sehr verbreitet und spielen eine wichtige Rolle als Nahrungsstoffe, werden aber schon im Darmkanal so verändert, dass nicht sie, sondern andre Glieder der Gruppe durch Resorption ins Blut übertreten und dann entweder durch Verbrennung zur Wärme- und Arbeitsleistung dienen, oder auch (bei reichlicherer Nahrungszufuhr) in gewissen Formen aufgespeichert werden.

Chemisch betrachtet sind die Kohlenhydrate alkoholartige Aldehyde oder Ketone. Als einfachsten Körper dieser Gruppe können wir den Traubenzucker (Glykose) ansehen. Er hat die Formel $C_6H_{12}O_6$; Wasserstoff und Sauerstoff sind also in demselben Verhältnis vorhanden wie im Wasser, und deshalb nennt man eine solche Verbindung der Elemente des Wassers mit Kohlenstoff ein Kohlehydrat, gleichsam als wäre seine Zusammensetzung: $C_6(H_2O)_6$. Aber die Konstitution wird richtiger ausgedrückt durch die Formel:

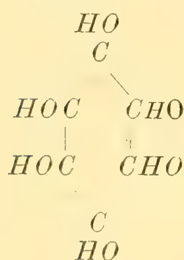


$$CH_2(HO) - CH(OH) - CH(OH) - CH(OH) - CH(OH) - CHO.$$

Die Glykose findet sich im Blut und in den Gewebsflüssigkeiten, unter besondern Umständen in der Leber (vgl. Vor-

lesung V, § 24) und geht unter besonderen Umständen in den Harn über (Zuckerharnruhr oder Diabetes). Sie ist sehr verbreitet im Pflanzenreich (immer zugleich mit Fruktose). Mit ihr isomer ist die Galaktose, welche als Spaltungsprodukt des gleich zu erwähnenden Milchzuckers auftritt, und die Fruktose (Fruchtzucker), welche im Darm und seltner im Harn gefunden wird. — Die Kohlenhydrate von der Formel $C_6 H_{12} O_6$ werden als Monosaccharosen oder Glykosen bezeichnet.

Der Muskelzucker oder Inosit hat bei gleicher Zusammensetzung wie die Monosaccharosen eine abweichende Konstitution. Seine sechs Kohlenstoffatome sind ringförmig so mit einander verbunden, dass abwechselnd je eine und je zwei Affinitäten der Kohlenstoffe sich binden*, und an jedes dieser Atome ist dann noch eine Hydroxylgruppe gebunden, wie es das folgende Schema darstellt. Inosit ist deshalb als ein sechswertiger Alkohol anzusehen. Er kommt in den Muskeln, spärlicher in andern Organen, zuweilen im Harn vor.



Durch Verbindung zweier Moleküle der Monosaccharosen unter Wasseraustritt entstehen die Disaccharosen. Dieselben sind also als Anhydride der Monosaccharosen anzusehen; ihre Zusammensetzung wird durch die Formel $C_{12} H_{22} C_{11}$ ausgedrückt. Die wichtigsten sind. Laktose (Milchzucker), zerfällt in Galaktose und Glykose. Bestandteil der Milch. Maltose (Malzzucker) zerfällt in zwei Moleküle Dextrose; entsteht im Darmkanal (und bei der Keimung der Pflanzensamen) aus Stärke. Rohrzucker, zerfällt beim Kochen mit verdünnten Säuren in Fruktose und Glykose unter Wasseraufnahme; in den Pflanzen sehr verbreitet und daher häufig in der Nahrung.

Treten mehr als zwei Moleküle der Monosaccharosen oder zwei Moleküle der Disaccharosen (unter Wasseraustritt) zusammen, so entstehen die Polysaccharosen oder Amylosen. Ihre allgemeine Formel ist: $(C_6 H_{10} O_5) n$. Dieselben zerfallen beim Kochen mit ver-

* Diese ringförmige Bindung ist charakteristisch für die Klasse der aromatischen Verbindungen, welche sich von dem Benzol $C_6 H_6$ ableiten, indem an die Stelle eines oder mehrerer der 6 Wasserstoffatome andre Elemente oder Radikale treten. Einige Glieder dieser Reihe kommen auch im Organismus vor.

dünnten Säuren unter Wasseraufnahme in zwei oder mehrere Körper der Mono- oder Disaccharosenreihe. Wichtige Polysaccharosen sind: Stärke oder Amylum, im Pflanzenreiche sehr verbreitet, wichtiger Bestandteil der Nahrung, geht im Darmkanal in Dextrin und Maltose über, doch entsteht immer daneben auch Dextrose. — Cellulose, gleichfalls im Pflanzenreiche sehr verbreitet, wo es die Umhüllung der Pflanzenzellen bildet (daher der Name Zellstoff), im Darmkanal des Menschen sehr schwer, vielleicht nur wenn sie aus jugendlichen Pflanzenteilen stammt, verdaulich, besser aber in dem der Pflanzenfresser.

Glykogen, auch tierische Stärke genannt, der Stärke sehr ähnlich, in der Leber und in den Muskeln, weniger in anderen Organen vorhanden. Zerfällt gleichfalls in Dextrin und Maltose, bezw. Dextrose. (Vgl. Vorlesung V, § 24 und No. 13).

Dextrin kommt als Spaltungsprodukt der Stärke und des Glykogens im Darmkanal vor, aber in geringen Mengen auch im Blut; kann in Maltose nnd Dextrose gespalten werden.

Als tierisches Gummi ist eine, wahrscheinlich auch hierher gehörende Substanz beschrieben worden, welche beim Kochen mit verdünnten Säuren eine zuckerähnliche Substanz liefert; kommt in schleimhaltigen Flüssigkeiten vor.

19. Unter den atickstoffhaltigen Verbindungen sind die wichtigsten die Eiweifskörper, Albumine, welche die Grundlage aller lebenden Substanz, des Protoplasmas, bilden. Ihre, jedenfalls sehr verwickelte, chemische Konstitution ist unbekannt. Man weifs nur, dass neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff auch Schwefel und Phosphor in die Verbindung eingehen. Da aber letztere Elemente nur einen geringen Bruchteil des Gesamtgewichts ausmachen (der S-gehalt schwankt zwischen 0,3 und 2%) und doch mindestens ein Atom Schwefel oder Phosphor in dem Molekül eines Eiweifskörpers enthalten sein muss, so ergiebt sich, dass in einem solchen Molekül mehrere Hunderte von Atomen zu einem Komplex von unbekannter Konstitution zusammengefasst sein müssen. Den Eiweifskörpern sehr ähnlich sind die eiweifsähnlichen Körper oder Albuminoide.

Über die Beschaffenheit des Eiweifses im lebenden Protoplasma wissen wir noch so gut wie nichts. Man kann jedoch aus den verschiedenen Geweben eine Anzahl von Stoffen abscheiden, welche sich in Bezug auf ihr Verhalten zu Reagentien,

ihre physikalischen Eigenschaften, ihre Spaltungsprodukte u. s. w. sehr ähnlich verhalten, in Einzelnheiten aber doch so von einander abweichen, dass man nicht von einem einzigen, sondern von einer Anzahl verschiedener Eiweiſskörper sprechen muss. Man hat versucht, diese von einer Grundsubstanz, welche man als Protein bezeichnet hat, abzuleiten, doch erscheint es richtiger, mehrere Gruppen zu unterscheiden.

Auch die Elementaranalyse kann über die Zusammensetzung der Eiweiſskörper keinen ganz zuverlässigen Aufschluss geben, weil es sehr schwer ist, sie ganz rein darzustellen. Um jedoch eine ungefähre Vorstellung von ihrer Zusammensetzung zu erhalten, geben wir die Grenzwerte, welche bei guten Analysen erhalten worden sind, etwas abgerundet, an:

	C	*H*	*O*	*N*	*S*	
Minim.	51	6,9	21	15	0,3	in 100 Teilen.
Maxim.	55	7,3	24	17	2,0	

Die wichtigsten im Tierkörper vorkommenden Eiweiſskörper sind:

A. 1) Albumine in engeren Sinne, in Wasser löslich, durch verdünnte Säuren und Salze der schweren Metalle fällbar, gerinnen bei Erwärmung auf ungefähr 75°. Serumalbumin (im Blut und den Gewebssäften), Eieralbumin (im Weiſsen der Eier), Muskelalbumin (im Muskelsaft), Milchalbumin (in der Milch).

2) Globuline, in Wasser unlöslich, aber löslich in schwachen Lösungen neutraler Salze (Kochsalz, Magnesiumsulfat u. a.) fällbar durch Verdünnen oder Sättigen der Salzlösung, Einleiten von CO_2, Erhitzen auf 75°. — Serumglobulin (im Serum), Globulin der Krystalllinse, Vitellin (im Eidotter), fibrinogene Substanz oder Metaglobulin und fibrinoplastische Substanz oder Paraglobulin (beide im Blut, erstere auch in den sogenannten serösen Flüssigkeiten; über ihre Beziehungen zum Fibrin und der Blutgerinnung vgl. Vorlesung III, § 14); Myosin (in den Muskeln, vgl. Vorlesung VI, § 4 und Vorlesung VII, § 4).

3) Alkali- und Säurealbuminate, entstehen aus den unter 1) und 2) aufgezählten, durch längere Einwirkung verdünnter Säuren oder Alkalien; gerinnen nicht beim Erhitzen, werden durch Neutralisation der Lösung gefällt. Hierzu gehört das Acidalbumin und das Syntonin, welche durch Ein-

wirkung von Säuren auf Eiweifskörper entstehen, z. B. auch im Magen durch die dort vorhandene Salzsäure.

4) Fibrin, in Wasser unlöslich, in verdünnten Säuren und Alkalien aufquellend und schliefslich zu Acid- oder Alkalialbuminat sich lösend; kommt im lebenden Organismus nur ausnahmsweise vor. (Vgl. Vorlesung III, § 10 und 14).

Im Pflanzenreich kommen noch andre Eiweifskörper vor, z. B. Kleber (Gluten), Legumin, Pflanzenfibrin. Sie bilden neben den tierischen Eiweifskörpern einen wichtigen Bestandteil der Nahrung.

5) Nucleine oder Nucleoalbumine. Hauptbestandteil des Protoplasmas, besonders in zellreichen Organen; verhalten sich wie Säuren, in Wasser und neutralen Salzen kaum löslich, leicht löslich in wenig Alkali. Von den Albuminen und Globulinen durch Phosphorgehalt unterschieden; spalten bei Verdauung mit Pepsin-Salzsäure Nuclein ab, das vielleicht eine Verbindung von Eiweifs mit Metaphosphorsäure ist (Nuclein der Hefe, des Eiters, des Blutes). Die Nucleine sind die Muttersubstanzen der sogenannten Xanthinkörper. Das Casein der Milch gehört hierher.

B. Eine zweite Gruppe bilden die sogenannten Proteide, nämlich:

1) Mucine. Mucoide, Schleimstoffe in Schleimdrüsen, Schleimhäuten, Bindegewebe, Knorpel. In Wasser und Essigsäure unlöslich, in verdünntem Alkali löslich.

2) Hämoglobine und andre Farbstoffe: Das Hämoglobin, der Farbstoff der roten Blutkörperchen, krystallisierbar in rhombischen Tafeln oder Prismen, zerfällt durch Säuren, Alkalien, Erhitzen auf 75° in den Eiweifskörper Globulin (s. oben unter A. 2) und den Farbstoff Hämatin, welcher eisenhaltig ist und mit Salzsäure die forensisch sehr wichtigen sogenannten Häminkrystalle giebt (vgl. No. 32). Wenn Blut aus den Gefäfsen in die Gewebe austritt und dort, von der Luft abgeschlossen, lange verweilt, so bildet sich aus dem Hämoglobin ein andrer Farbstoff: Hämatoidin, welcher gleichfalls krystallisiert, aber kein Eisen enthält. Hämatoidin ist fast gleich dem in der Galle vorkommenden Farbstoff Bilirubin. Es scheint demnach, dass auch letzteres in der Leber aus Hämoglobin gebildet wird. Aufserdem kommen in der Galle noch andre Farbstoffe vor, welche sich

vom Bilirubin nur durch einen gröfseren Gehalt an O und H_2O-molekülen unterscheiden und wahrscheinlich aus jenem durch Oxydation entstehen. Bilirubin giebt der Galle eine goldrote Farbe: unter den andern Farbstoffen ist der nächst höher oxydierte grün und wird Biliverdin genannt.

Auch die in den Muskeln und im Harn vorkommenden Farbstoffe stammen höchstwahrscheinlich vom Hämoglobin ab und sind zum Teil mit den Gallenfarbstoffen identisch.

C. Den Eiweifskörpern sehr nahe verwandt sind eine Anzahl von Stoffen, welche man unter dem Namen eiweifsähnliche Stoffe oder Albuminoide zusammenfasst. Hierzu gehören:

1) Chondrin (Knorpelleim) und 2) Glutin (Leim): diese beiden Körper entstehen, wahrscheinlich durch Spaltung, aus entsprechenden Anhydriden (Chondrogen und Collagen) beim Kochen des Knorpels, bezw. der Bindesubstanzen. 3) Elastin. im elastischen Gewebe; 4) Keratin (Hornstoff) in den verhornten Epithelien wie Nägeln, Haaren u. s. w.; endlich wahrscheinlich auch das sogenannte 5) Amyloid, in der Milz, Leber und andern Organen, besonders bei Krankheiten vorkommend.

20. Andre stickstoffhaltige Verbindungen, welche nicht zu den Eiweifskörpern gehören, sind:

Lecithine, Verbindungen von Fett- oder Ölsäuren mit Cholin und Glycerinphosphorsäure. Die Lecithine kommen im Blut, in der Galle, den Nerven (Gehirn), im Samen, Eidotter, den weifsen Blutkörperchen u. s. w. vor. In Wasser quellen sie zu einer schleimigen Flüssigkeit auf. Ihre Zersetzungsprodukte kommen gelegentlich auch getrennt vor: Glycerinphosphorsäure $C_3H_9PO_6$ und Cholin $N \begin{cases} OH \\ \equiv (CH_3)_3 \\ CH_2\,CH_2\,OH \end{cases}$.

Cerebrin, in Wasser stark quellend, ist in den Nerven und Gehirn gefunden worden. Ein Gemenge von Cerebrin und Lecithin bildet das von Liebreich dargestellte Protagon. Bei Spaltung von Cerebrin mit verdünnter Schwefelsäure entsteht Galaktose.

D. Unter dem Namen Fermente fasst man eine Anzahl von Stoffen zusammen, welche man jedoch nicht rein darstellen kann, sondern nur in Gemengen mit Eiweifskörpern. Über die Fermente, welche besonders bei der Verdauung eine sehr wichtige Rolle spielen, vgl. Vorlesung III, § 14 und Vorlesung VI, § 14 ff.

22. Die bisher besprochenen Substanzen erfahren innerhalb des Organismus allerlei chemische Veränderungen, so dass aus ihnen eine Anzahl andrer Stoffe entstehen. Diese Veränderungen kommen zu stande: 1) durch Oxydation, 2) durch Spaltung, 3) durch Synthese.

Oxydation geht fortwährend in allen Teilen des Organismus vor sich. Dadurch entstehen sowohl aus den eigentlichen Bestandteilen der Gewebe als auch aus den in den Gewebssäften gelösten oder aufgeschwemmten Stoffen Oxydationsprodukte, welche vom Blute fortgespült und schliefslich durch Haut, Nieren und Lungen ausgeschieden werden. Aus den stickstofffreien organischen Stoffen, welche, wie wir gesehen haben, die Elemente C, H, O enthalten, entstehen dabei die Endprodukte CO_2 und H_2O. Verwickelter aber sind die Oxydationsprodukte der stickstoffhaltigen Verbindungen, namentlich der Eiweifskörper. Die wichtigsten derselben sind folgende:

Harnstoff $CO(NH_2)_2$ oder Carbamid, die letzte Oxydationsstufe, welche die Eiweifskörper oder, richtiger gesagt, ein aus ihnen abgespaltener, den ganzen Stickstoff enthaltender Anteil unter normalen Umständen im Organismus erreichen; Hauptbestandteil des Harns, in Wasser leicht löslich, krystallisierbar, geht leicht Verbindungen mit Säuren ein (die salpetersaure und die oxalsaure Verbindung geben schöne Krystalle, eignen sich daher zur Reindarstellung). Weil der Harnstoff das Hauptprodukt der Eiweifsverbrennung im Organismus darstellt, so ist die quantitative Bestimmung des ausgeschiedenen Harnstoffs als Mafsstab für die Eiweifsumsetzung im Organismus sehr wichtig. Die gebräuchlichste Methode ist die von Liebig angegebne: Harnstoff wird durch Quecksilberoxydnitrat gefällt; lässt man zu einer Harnstofflösung oder zu Harn eine titrierte Quecksilbernitratlösung langsam zufliefsen, so wird zuerst der Harnstoff an Quecksilber gebunden und ausgefällt. Ist dies geschehen, so bleibt das Quecksilbersalz in Lösung, was man daran erkennt, dass ein Tropfen der Mischung in einer Lösung von Natriumcarbonat einen gelben Niederschlag erzeugt; aus der Menge des zur Fällung des Harnstoffs verbrauchten Quecksilbernitrats kann man dann den Harnstoff berechnen. Bei Benutzung der Methode zur Harnstoffbestimmung im Harn ist es notwendig, vorher das Kochsalz und die phosphorsauren Salze auszufällen.

Bei der Fäulnis geht Harnstoff unter Aufnahme von Wasser in Ammoniumcarbonat über: $CO(NH_2)_2 + 2\,H_2O = CO_3(NH_4)_2$. Harnstoff wurde i. J. 1828 von Wöhler aus Ammoniumcyanat dargestellt; beide sind isomer; beim Erhitzen der Lösung des Salzes findet eine Atomumlagerung statt, aus $CN.O.NH_4$ wird $CO(NH_2)_2$. Es war dies der erste Fall der künstlichen Darstellung einer sonst nur als Produkt des tierischen Stoffwechsels bekannten Verbindung.

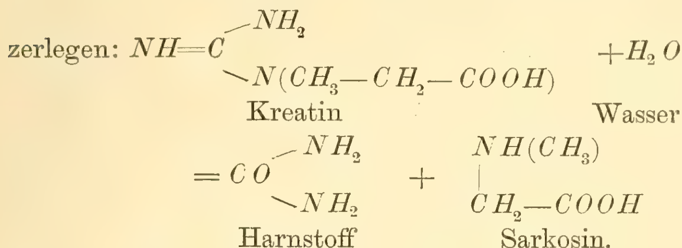
Aufser im Harn und Schweifs kommt Harnstoff in geringen Mengen auch im Blut, in der Lymphe und in verschiedenen Geweben vor. Er entsteht nicht nur aus dem Eiweifs der Gewebssubstanz, sondern auch aus dem der Nahrung, nachdem dasselbe aus dem Darmkanal in die Gewebssäfte übergetreten ist. Daher steigt die Ausscheidung von Harnstoff erheblich, wenn viel Eiweifs in der Nahrung aufgenommen wird, und bei länger fortgesetzter gleichmäfsiger Ernährung ist die Menge des ausgeschiedenen N, welche fast ganz in der Form des Harnstoffs auftritt, der Menge des aufgenommenen gleich (Stickstoffgleichgewicht).

Der Übergang der Eiweifskörper in Harnstoff geschieht allmählich. Von den dabei auftretenden Zwischenstufen sind die wichtigsten:

Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$, im Harn der meisten Tiere in geringer Menge, in dem der Vögel und Reptilien jedoch reichlich vorhanden. Aufser im Harn und (meist nur in Spuren) im Schweifs findet man sie noch im Blut, in den Muskeln, in der Milz, der Leber u. a. Geweben. Die Harnsäure ist eine schwache zweibasische Säure. Im Harn kommt sie in der Form von sauren Salzen vor, hauptsächlich als Mono-Natrium-, Kalium- und Ammoniumsalz. Da diese schwer löslich sind, so setzen sie sich leicht (im unreinen Zustande) als sogenannter „Ziegelmehlbodensatz“ ab, geben auch schon in der Blase leicht Anlass zur Bildung von Harnsteinen. Bei gröfserem Gehalt des Blutes an Harnsäure kommt es häufig auch zur Ablagerung von harnsauren Salzen in den Gelenken (Gichtknoten). Alkalische Mineralwässer befördern die Lösung der Harnsäure.

Kreatin $C_4H_9N_3O_2$, im Muskelsaft, Gehirn, im Blut, seltner im Harn: statt dessen kommt im letzteren fast immer etwas Kreatinin $C_4H_7N_3O$, vor, welches sich vom Kreatin nur durch ein Minus

von H_2O unterscheidet. Auch Kreatinin findet sich regelmäſsig im Muskelsaft. Wahrscheinlich entstehen Kreatinin und Kreatin durch die Stoffwechselvorgänge im Muskel und in andern Geweben, und das letztere ist vielleicht die hauptsächlichste Vorstufe des Harnstoffs. Denn Kreatin kann man in Sarkosin und Harnstoff

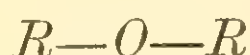


Doch hat man das Sarkosin als solches im Körper nicht nachgewiesen.

Xanthin $C_5H_4N_4O_2$; Hypoxanthin oder Sarkin $C_5H_4N_4O$; Carnin $C_7H_8N_4O$; Adenin $C_5H_5N_5$ kommen in den Muskeln, Milz, Leber und in geringen Mengen im Harn vor. Allantoin $C_4H_6N_4O_3$ im Harn des Fötus und der Neugeborenen, später in Spuren, Guanin $C_5H_5N_5O$ in Leber, Milz, Pankreas, Muskeln in geringen Mengen, reichlicher im Guano. Sie sind sämtlich Basen und werden unter dem Gesamtnamen Xanthinkörper zusammengefasst.

23. Unter den Spaltungsprodukten der Eiweiſskörper, welche ganz ohne oder doch ohne erhebliche Oxydation entstehen, sind hervorzuheben:

Die Peptone; sie entstehen im Verdauungskanal aus den Eiweiſskörpern und die ihnen sehr ähnlichen Leimpeptone aus Leim und leimgebenden Substanzen, wahrscheinlich auf dem Wege der sogenannten hydrolytischen Spaltung. Wie wir gesehen haben (No. 16) können sich Atomkomplexe, welche zwei Alkohol- und Säureradikale, sowie sonstige Hydroxylgruppen enthalten, unter Wasseraustritt mit einander zu sogenannten Anhydriden vereinigen. In einem solchen Anhydrid werden die nach Abzug der Hydroxylgruppen übrig bleibenden Radikale durch ein zwischengelagertes O-atom miteinander verkettet nach dem Schema:



in welchem R ein beliebiges, mehr oder weniger komplexes Radikal vorstellt. Umgekehrt kann ein derartiges Anhydrid

durch Wasseraufnahme wieder in zwei einfachere Körper zerfallen:



$$R—O—R + H_2O = R—OH + R—OH.$$

Diese Art von Spaltung nennt man hydrolytische. Sie wird u. a. herbeigeführt durch Kochen der Anhydride mit verdünnten Säuren; Beispiele davon haben wir schon bei den Kohlenhydraten (No. 18) kennen gelernt. Es giebt aber auch eine Anzahl sogenannter Fermente, welche in ähnlicher Weise wirken, worüber Näheres bei der Betrachtung der Verdauung mitgeteilt worden ist. Die Eiweifskörper sind wahrscheinlich auch solche Anhydride und ihre nächsten Spaltungsprodukte sind eben die Peptone. Diese unterscheiden sich von den Eiweifskörpern vorzugsweise durch ihre Leichtlöslichkeit in Wasser und ihre Diffusionsfähigkeit, welche es ermöglicht, dass sie durch die Wandungen der Blutgefäfse hindurchdringen und somit resorbiert werden können (vgl. No. 8).

Die Peptone sind in Wasser leicht löslich, werden durch Säuren, Alkalien und die Siedehitze nicht, durch Alkohol nur schwer gefällt; von den Metallsalzen wirken nur einige (Quecksilberchlorid, Bleiacetat, Silbernitrat u. a.) fällend — kurz die Peptone unterscheiden sich wesentlich von den Eiweifskörpern, aus denen sie entstehen. Über ihre chemische Konstitution ist Genaueres nicht bekannt, weshalb ich auf Einzelnheiten, besonders auch auf die Unterschiede der einzelnen Peptone, nicht weiter eingehe.

Obgleich grofse Mengen von Peptonen im Darmkanal aus den eingeführten Eiweifskörpern der Nahrung entstehen, findet man dieselben im Organismus immer nur in Spuren. Ob sie gleich nach ihrer Resorption wieder zu Eiweifskörpern werden und in welchen Organen diese Synthese erfolgt, oder ob sie nach ihrer Resorption schnell oxydiert werden, ist unbekannt. Ein Teil der Peptone unterliegt aber sicher noch einer weiteren Spaltung u. z. zum Teil schon im Darm selbst. Zu den Spaltungsprodukten der Peptone gehören:

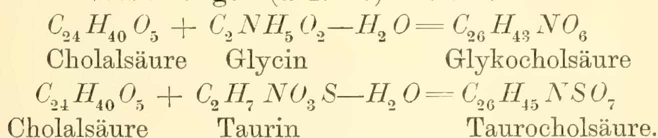
Leucin $C_6H_{13}NO_2$, entsteht im Darm bei der Verdauung, kommt in der Leber, Milz, dem Pankreas u. a. Organen, bei gewissen Krankheiten (Leberatrophie) auch im Harn vor.

Tyrosin $C_9H_{11}NO_3$, entsteht wie Leucin im Darm, kommt

in Spuren in Milz und Pankreas, im Harn nur in Krankheitsfällen vor.

Leucin und Tyrosin bilden sich bei der Pankreasverdauung im Darm in geringer Menge, in gröſserer aber bei der Fäulnis der Eiweiſskörper, welche freilich neben der eigentlichen Verdauung auch stets im Darm stattfindet. Bei dieser Fäulnis entstehen ferner Indol $C_8 H_7 N$ und Skatol $C_9 H_9 N$, welches letztere in den Kot übergeht und diesem seinen charakteristischen Geruch verleiht, während aus dem Indol, zum Teil wenigstens, das Harn-Indikan (das ist indoxylschwefelsaures Kalium, $C_8 H_6 N . O . SO_3 . Ka$) hervorgeht, das sich im Harn und Schweiſs findet und zuweilen zur Bildung von Indigo $C_{16} H_{10} N_2 O_2$ führt (blauer Schweiſs und blauer Harn).

Aus den Peptonen leiten sich wahrscheinlich auch ab die den Hauptbestandteil der Galle bildenden Gallensäuren. Man findet in der Galle meist zwei Gallensäuren u. z. an Natron gebunden: die Glykocholsäure $C_{26} H_{43} NO_6$ und die Taurocholsäure $C_{26} H_{45} NSO_7$. Beide sind sogenannte gepaarte Säuren, indem sie aus der Cholalsäure $C_{24} H_{40} O_5$ und dem Glycin $C_2 NH_5 O_2$ bezw. Taurin $C_2 H_7 NO_3 S$ unter Wasseraustritt nach Art der Amidverbindungen (s. N. 16) entstehen:



$$\underset{\text{Cholalsäure}}{C_{24} H_{40} O_5} + \underset{\text{Glycin}}{C_2 NH_5 O_2} - H_2 O = \underset{\text{Glykocholsäure}}{C_{26} H_{43} NO_6}$$

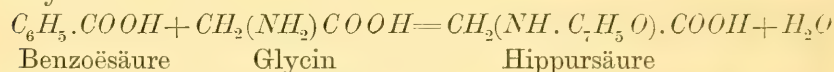
$$\underset{\text{Cholalsäure}}{C_{24} H_{40} O_5} + \underset{\text{Taurin}}{C_2 H_7 NO_3 S} - H_2 O = \underset{\text{Taurocholsäure.}}{C_{26} H_{45} NSO_7}$$

Im Darm werden die Gallensäuren zum gröſsten Teil wieder resorbiert; der Rest wird gespalten und aus der Cholalsäure entstehen durch Wasserabgabe Choloidinsäure $C_{24} H_{38} O_4$ und Dyslysin $C_{24} H_{36} O_3$, welches letztere in den Kot übergeht.

24. Synthesen, d. h. Vereinigungen einfacher Körper zu zusammengesetzteren Verbindungen, kommen im Tierkörper nur in untergeordnetem Maſse vor, während sie in den Pflanzen in ausgedehnter Weise stattfinden. Denn diese zerlegen Kohlensäure in Kohlenstoff und Sauerstoff und bauen aus dem Kohlenstoff, aus Wasser und Stickstoff die höchst zusammengesetzten Eiweiſskörper und aus Kohlenstoff und Wasser allein Fette und Kohlenhydrate auf. Diese Fähigkeit haben die Tiere nicht, sie müssen vielmehr jene drei Gruppen von Verbindungen aufnehmen. Ebenso wie die Tiere verhalten sich auch viele niedre

Pflanzen, welche den grünen Farbstoff, Chlorophyll, nicht besitzen. Denn nur durch diesen geht unter der Einwirkung des Sonnenlichts die Zerlegung der Kohlensäure vor sich. Deshalb leben auch chlorophyll-freie Pflanzen entweder als Saprophyten auf organischen Stoffen oder als Parasiten auf lebender Materie andrer Pflanzen oder Tiere.

Zu den im tierischen Organismus stattfindenden Synthesen haben wir vor allen Dingen den Wiederaufbau von Eiweifs aus den im Darm entstandenen Peptonen zu rechnen; ferner die Bildung von Glykogen aus der Dextrose. Daneben finden aber auch andre Synthesen statt. So entsteht z. B. Hippursäure durch Vereinigung von Benzoësäure mit dem schon erwähnten Glycin:



$$C_6H_5.COOH + CH_2(NH_2)COOH = CH_2(NH.C_7H_5O).COOH + H_2O$$

Benzoësäure Glycin Hippursäure

Da die Benzoësäure im Pflanzenreich sehr verbreitet ist, so erklärt sich das Auftreten der Hippursäure als konstanter Bestandteil im Harn der Pflanzenfresser, während sie im Harn des Menschen nicht immer vorkommt und bei reiner Fleischnahrung ganz fehlen kann.

In ähnlicher Weise ist auch das Vorkommen von Phenylschwefelsäure $C_6H_5.O.SO_2.OH$ und andrer, ähnlich zusammengesetzter Verbindungen im Harn zu erklären. Phenol $C_6H_5.OH$ ist eines der Zersetzungsprodukte, welche bei der Fäulnis der Eiweifskörper im Darm auftreten; durch Eintritt seines Radikals in das Schwefelsäuremolekül entsteht dann die gepaarte Schwefelsäure, wie man diese und ihr ähnliche Verbindungen nennt. Auf gleiche Weise geht die Bildung des Indikans aus dem Indol vor sich, von welcher schon die Rede war.

---

3. Das Blut.

25. Das Blut besteht aus Plasma und Blutkörperchen, von denen wieder rote und farblose zu unterscheiden sind. (Vgl. Vorlesung III). Aufser diesen kommen noch sogenannte Blutplättchen vor, sehr kleine Körperchen, ungefähr halb so grofs als ein rotes Blutkörperchen, welche leicht zerfallen und dann als sogenannte Körnchenhaufen erscheinen. Sie sollen

nach der Meinung einiger Forscher bei der Gerinnung mitwirken.

26. Das Plasma ist, da alle im Körper irgendwo vorhandenen oder von aufsen eingeführten Stoffe, insbesondere auch die in den Geweben entstehenden Zersetzungsprodukte, sofern sie löslich sind, durch Diffusion in das Blut hineingelangen, immer sehr zusammengesetzt; und seine Zusammensetzung muss je nach der Aufnahme und Abgabe von Stoffen* eine sehr wechselnde sein. Man kann daher für die Zusammensetzung des Plasmas nur Durchschnittszahlen, wie sie gewöhnlich gefunden werden, angeben. Für die am häufigsten untersuchten Blutarten der Säugetiere gelten etwa folgende Zahlen:

Das Plasma macht ungefähr $6/_{10}$ des ganzen Bluts aus. Es besteht aus etwa $90^0/_0$ Wasser und $10^0/_0$ festen Bestandteilen Von diesen sind

$7—9^0/_0$ Eiweifskörper, namentlich Serumalbumin, Globulin und Fibrinogen, aus welchem bei der Gerinnung das Fibrin entsteht. Letzteres hat etwa ein Gewicht von $0,2—1^0/_0$ des Gesamtbluts.

$0,75^0/_0$ verschiedene organische Stoffe; Lecithin, Cerebrin, Cholesterin, Fette, Seifen, Zucker, Harnstoff u. a. Oxydationsprodukte der Eiweifskörper (vgl. No. 22), Fermente, Farbstoffe.

$0,75^0/_0$ anorganische Stoffe, namentlich Kochsalz, Phosphate und Carbonate des Natriums, Calciums, Magnesiums u. a.

Von Gasen enthält das Plasma namentlich Kohlensäure (gebunden und absorbiert) und geringe Mengen Sauerstoff und Stickstoff (absorbiert).

27. Die Blutkörperchen enthalten nahe an $70^0/_0$ Wasser und etwa $30^0/_0$ feste Bestandteile. Von letzteren kommt der gröfste Teil auf das Hämoglobin. Von organischen Stoffen sind noch vorhanden Lecithin und Cholesterin, von Salzen namentlich Kaliumverbindungen, von Gasen Sauerstoff (an das Hämoglobin gebunden) etwas Kohlensäure und Spuren von Stickstoff.

Es ist bemerkenswert, dass unter den Salzen der Blutkörperchen die Kaliumverbindungen reichlicher vorhanden sind als die

* Erstere findet hauptsächlich in den Lungen und dem Darmkanal sowie in allen Geweben, letztere hauptsächlich in den Drüsen statt. Vgl. Vorlesung V.

Natriumverbindungen, während es im Plasma gerade umgekehrt ist. Dies lässt auf das Vorhandensein von (chemischen) Anziehungskräften schliefsen, da sonst infolge der Diffusion eine gleichmäfsige Verteilung erfolgen müsste.

28. Das Hämoglobin ist in den Blutkörperchen mit einer farblosen Masse, dem Stroma, fest verbunden. Wird das Stroma zerstört, so löst sich das Hämoglobin im Plasma. Dies kann durch mechanische Mittel geschehen z. B. wiederholtes Gefrieren und Wiederaufthauen, oder durch chemische, welche die Bestandteile des Stromas auflösen. Geringe Mengen Chloroform, Äther, gallensaure Salze genügen dazu. Auch starke elektrische Schläge, welche man durch das Blut leitet, wirken in gleicher Weise.

Sobald das Stroma zerstört und das Hämoglobin im Plasma gelöst ist, wird das Blut durchsichtig. Normales Blut, welches aus dem vollkommen durchsichtigen Plasma und den in diesem schwebenden Blutkörperchen besteht, ist undurchsichtig, weil jedes Blutkörperchen an seiner Oberfläche etwas Licht reflektiert. Bei der ungeheuren Zahl von Körperchen ist selbst in einer dünnen Schicht die Zahl dieser Reflexionen so grofs, dass kein merkliches Licht mehr durchgeht. Giefst man daher Blut in dünner Schicht auf irgend einen Grund, so deckt es denselben vollkommen zu, d. h. es lässt kein Licht von ihm hindurchtreten; es verhält sich wie eine sogenannte Deckfarbe. Giefst man aber Blut, dessen Körperchen zerstört sind, ebenso aus, so kann man den Grund durch die rote, aber durchsichtige Hämoglobinlösung hindurch noch sehen; eine solche Lösung verhält sich wie eine sogenannte Lack- oder Lasurfarbe. Man sagt daher, das Blut werde durch Auflösung seiner Körperchen lackfarben.

Aus der Lösung des Hämoglobins im Plasma kann man das erstere in Krystallform gewinnen (Vorlesung III, § 9) und durch Umkrystallisieren rein darstellen. Lösungen dieser Krystalle verhalten sich hinsichtlich der Farbenerscheinungen und der Beziehungen zu manchen Gasen ganz wie das Blut selbst. Um verdünnte Hämoglobinlösungen herzustellen genügt es, das Blut einfach mit sehr viel Wasser zu verdünnen. Denn dadurch werden die Blutkörperchen auch zerstört, und das Hämoglobin löst sich im Wasser.

29. Solche verdünnte Hämoglobinlösungen zeigen ein sehr bemerkenswertes optisches Verhalten. Lässt man ein schmales Lichtbündel auf ein Glasprisma fallen und betrachtet das durchgegangene Licht, so sieht man bekanntlich, dass die Lichtstrahlen gebrochen, d. h. von ihrer Richtung abgelenkt sind, und dass aufserdem ein sogenanntes Farbenspektrum entsteht. Das farblose oder weifse Licht besteht in Wirklichkeit aus verschiedenen Lichtsorten, welche auf unser Auge verschiedenartig wirken. Dieselben werden durch das Prisma ungleich gebrochen, die roten am wenigsten, die violetten am stärksten. Sie erscheinen deshalb getrennt nebeneinander und können gesondert gesehen werden.

Benutzt man Sonnenlicht zu diesem Versuch, so sieht man das farbige Band von feinen schwarzen Linien, den sogenannten Fraunhofer'schen Linien, durchzogen, welche stets an ganz bestimmten Stellen des Spektrums erscheinen und zur Bezeichnung dieser Stellen benutzt werden. Sie eignen sich dazu besser als die Angabe der Farben, weil diese ganz allmählich in einander übergehen. Die stärksten dieser Fraunhofer'schen Linien werden mit den Buchstaben *A* bis *H* bezeichnet, die schwächeren mit kleinen Buchstaben. *A* liegt im roten, *H* im violetten Teil des Spektrums. Die Linien *D* und *E*, welche im folgenden erwähnt werden, liegen erstere im Gelb, letztere im Grün.

Bringt man eine durchsichtige, aber gefärbte Substanz zwischen die Lichtquelle und den Spalt, so ändert sich das Spektrum. Eine gefärbte Flüssigkeit lässt einzelne Lichtsorten durch, während sie andre absorbiert. Eine Hämoglobinlösung, welche für das blofse Auge deutlich rot gefärbt erscheint, lässt fast nur rotes Licht durch. Verdünnt man sie aber mehr, so hellen sich nach und nach die dunklen Teile des Spektrums auf, und zuletzt erscheint dasselbe wieder in seiner ganzen Ausdehnung mit Ausnahme zweier Stellen, welche dunkel bleiben, der sogenannten Absorptionsstreifen oder Absorptionsbänder, von denen der eine, schmalere nahe der Linie *D*, nach *E* zu, im Gelb liegt, der andre, etwas breitere, im Grün etwa von der Mitte zwischen *D* und *E* anfangend bis nahe an *E* heranreicht. Entzieht man dem Hämoglobin allen locker an dasselbe gebundenen Sauerstoff, indem man die Lösung mit reduzierenden Mitteln schüttelt (vgl. Vorlesung IV, § 4), so wird dieselbe

dunkler; zugleich aber verschwinden die beiden Absorptionsbänder. und statt ihrer tritt ein andres, breiteres Absorptionsband auf, welches gerade da liegt, wo bei dem Spektrum des Sauerstoffhämoglobins das Licht zwischen den oben beschriebenen Absorptionsbändern frei hindurch geht. Das Absorptionsband der reduzierten Hämoglobins ist in seinen mittleren Teilen sehr dunkel und verliert sich, allmählich blasser werdend, nach beiden Seiten hin.

30. Dieses eigentümliche optische Verhalten der Hämoglobinlösungen oder des verdünnten Bluts kann zur Erkennung desselben und zur Unterscheidung von anderen roten Flüssigkeiten dienen, indem man die Flüssigkeiten in einem Gefäfs von ungefärbtem Glase vor den Spalt des Spektralapparats bringt, so dass alles auf den Spalt fallende Licht vorher durch die Flüssigkeit gehen muss, und diese dann so lange mit Wasser verdünnt, bis die Absorptionsstreifen deutlich hervortreten. Eine Blutlösung zeigt dann ein Spektrum, wie es die Figur 114 in ihrer obersten Abteilung darstellt.

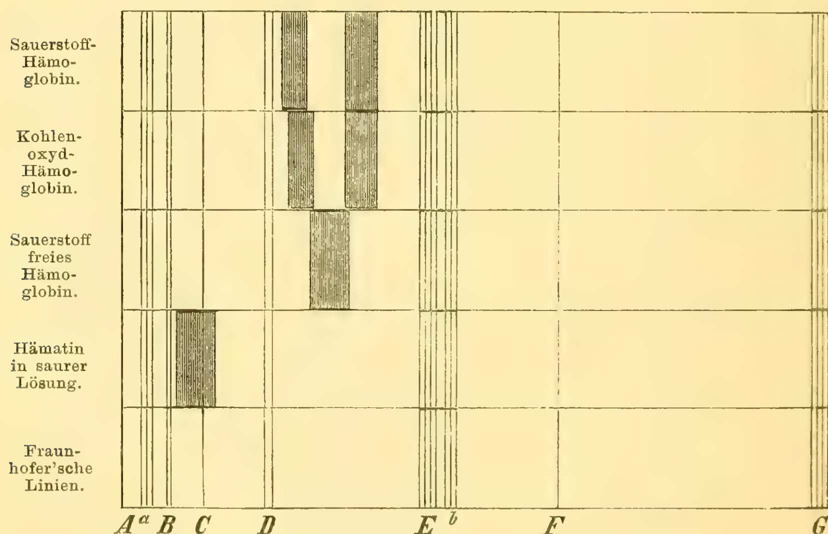


Fig. 114.

Blutspektra. Die feinen Linien sind die Fraunhofer'schen Linien, deren Bezeichnung unten angegeben ist.

Behandelt man Blut mit Kohlenoxyd, so verdrängt dieses Gas den Sauerstoff aus seiner Verbindung mit dem Hämoglobin

und bildet selbst eine ziemlich feste Verbindung mit demselben (s. Vorlesung IV, § 33). Solches Blut ist sehr hell, wie arterielles Blut; während letzteres scharlachrot aussieht, zeigt Kohlenoxydblut eine mehr kirschrote Färbung. Verdünnt man dasselbe bis zur genügenden Durchsichtigkeit, so zeigt es bei spektroskopischer Untersuchung das Spektrum des Kohlenoxydhämoglobins, wie in dem zweiten Streifen der Fig. 114 dargestellt ist. Dasselbe unterscheidet sich sehr wenig von dem des Sauerstoffhämoglobins, so dass der Unterschied nur dann deutlich hervortritt, wenn man beide Spektra gleichzeitig betrachten kann.* Der Unterschied wird aber sofort deutlich, wenn man das Blut mit reduzierenden Mitteln behandelt.

31. In diesem Falle giebt nämlich Sauerstoffhämoglobin allen Sauertoff an das reduzierende Mittel ab und verwandelt sich in reduziertes Hämoglobin, dessen Spektrum in dem dritten Streifen der Fig. 114 dargestellt ist. Kohlenoxydhämoglobin dagegen verändert sich bei der Behandlung mit reduzierenden Stoffen nicht; sein Spektrum bleibt unverändert.

Zu den reduzierenden Mitteln gehört auch das Schwefelwasserstoffgas. Stirbt ein Tier durch Einatmung dieses Gases, so wird deshalb sein Blut sehr dunkel, und wenn man dasselbe unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaſsregeln untersucht, so dass es nicht wieder Sauerstoff aufnehmen kann, dann zeigt es das Spektrum des reduzierten Hämoglobins. Wenn man aber Blut unmittelbar mit Schwefelwasserstoffgas behandelt, so wird das Hämoglobin anfangs auch reduziert, dann aber wird es noch weiter verändert, wodurch auch sein Spektrum noch weitere Änderungen erfährt.

31. Erwärmt man eine Hämoglobinlösung kurze Zeit auf etwas über 60°, so verliert sie ihre rote Farbe und es zeigen sich schmutzig braune Flocken. Dies rührt von einer Zersetzung des Hämoglobins her, welches dabei in eine farblose, zu den Eiweiſskörpern gehörende Substanz, Globulin, und in einen braunen Farbstoff, Hämatin, zerfällt. Bei niederen Temperaturen erfolgt diese Zerlegung auch, nur sehr viel langsamer. Auch durch Zusatz von Säuren kann man sie herbeiführen, aber dann wird

* Zu diesem Zweck pflegen die Spektralapparate so eingerichtet zu sein, dass sie zwei Spektra zu beobachten erlauben.

das Hämatin nicht gefällt, sondern bleibt in Lösung. Eine solche Lösung verhält sich wieder anders gegen das Licht wie die Lösungen der beiden Hämoglobine. Sie zeigt nämlich einen schmalen Absorptionsstreifen in der Gegend der Linie *C*, wie es das vierte Spektrum in Fig. 114 darstellt.

Das Hämatin enthält Eisen u. z. etwa 8—9% seines Gewichts. Das salzsaure Hämatin, welches man durch Zusatz von Salzsäure zu Hämoglobinlösung erhält, kann auch krystallisieren u. z. in Form kleiner, rhombischer Plättchen, der sogenannten Teichmann'schen Häminkrystalle. Diese Eigenschaft ist sehr wichtig, weil sie den Nachweis von Blut ermöglicht, selbst wenn nur geringe, vollkommen eingetrocknete Mengen desselben vorhanden sind, z. B. Flecken auf Wäsche, Kleidern, Messern oder dergleichen.

Um diesen Nachweis zu führen, bringt man die mit einigen Tropfen Wasser erweichten eingetrockneten Flecken oder etwas von dem abgeschabten Fleck mit wenig Wasser auf einen Objektträger und trocknet die Masse durch vorsichtiges Erwärmen über einer recht kleinen Flamme ein; dann setzt man ein kleines Körnchen Kochsalz und einen Tropfen Eisessig zu und erwärmt wieder recht vorsichtig bis zu fast vollständiger Eintrocknung. War Blut vorhanden, so sieht man dann bei mikroskopischer Untersuchung die charakteristischen braunen Krystalle.

32. Mittels der spektroskopischen Untersuchung oder der Darstellung der Häminkrystalle kann man wohl Blut nachweisen, man kann aber nicht erkennen, ob dasselbe von einem Menschen oder von irgend einem Tier herrührt.

Ein solcher Nachweis kann aber unter Umständen geführt werden, wenn die roten Blutkörperchen noch erhalten sind. Die in Vorlesung III, § 4 gegebne Beschreibung dieser Körperchen bezieht sich auf Menschenblut. Die Blutkörperchen der übrigen Säugetiere haben ganz dieselbe Form, doch sind sie meistens kleiner, nur die des Elephanten sind gröſser. Kamel und Lama haben allein von allen Säugetieren elliptische Blutkörperchen. Alle anderen Wirbeltiere haben gleichfalls elliptische Blutkörperchen, und die meisten von ihnen solche mit einem Kern, welcher in den Blutkörperchen der erwachsenen Säugetiere stets fehlt, während er in den Blutkörperchen ihrer Embryonen vorhanden ist.

4. Blutbewegung.

33. Zum Verständnis der Einzelnheiten der Blutbewegung muss man beachten, dass 1) das Blut eine inkompressible Flüssigkeit ist; 2) dass seine Bewegung durch rhythmisch wechselnde, also stofsweise wirkende Kräfte (von seiten des Herzens) erfolgt; 3) dass sie in geschlossenen, aber elastischen Röhren, deren Weite wechseln kann, vor sich geht und 4) dass der Querschnitt der Blutbahn vom Herzen nach den Kapillaren hin sich fortwährend erweitert.

34. Inkompressible oder tropfbarflüssige Körper (zum Unterschied von den luftförmigen oder elastischflüssigen) haben ein vom Druck unabhängiges Volum, zum wenigsten sind Drucke innerhalb der Grenzen, wie sie bei dem Kreislauf in Betracht kommen, nicht im stande, das Volum merklich zu verändern.* Weil jedoch die Moleküle der Flüssigkeiten gegen einander sehr leicht verschiebbar sind, so ergiebt sich dass jede Ungleichheit des Drucks in einer Flüssigkeitsmasse sofort eine Strömung von den Orten höheren zu denen niederen Druckes zur Folge hat und dass Drucke in Flüssigkeiten sich nach allen Richtungen fortpflanzen.

35. Eine Flüssigkeit, welche in einem Gefäfse mit starren Wänden enthalten ist, übt auf den Boden dieses Gefäfses Druck aus. Dieser muss offenbar um so gröfser sein, je höher die Flüssigkeitsoberfläche über dem Boden ist, da mit der Höhe auch die Zahl der vertikal übereinander liegenden Flüssigkeitsteilchen zunimmt, deren Drucke auf den Boden sich summieren. Um diesen Bodendruck zu messen, könnte man so verfahren. Man bohrt in den Boden ein Loch und presst gegen dasselbe eine Platte an, um das Ausfliefsen zu verhindern. Indem man den Druck, mit welchem dieses Anpressen erfolgt, verändert, wird man finden, wie grofs derselbe sein muss, um eben gerade das Ausfliefsen zu verhindern.

36. Wenn man diesen Versuch anstellt, so wird sich zeigen, dass aufser der Höhe noch zwei Umstände Einfluss haben:

---

* Wasser wird durch den Druck einer Atmosphäre nur um $\frac{5}{100\,000}$ seines Volums zusammengedrückt

1) Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit; eine Wassersäule von rund 14 cm Höhe wird einen ebenso grofsen Druck ausüben wie eine Quecksilbersäule von nur 1 cm Höhe. 2) Der Querschnitt der Öffnung; je gröfser derselbe, desto gröfser ist auch die Menge der Flüssigkeitsteilchen, welche auf denselben drücken. Darum wächst der Druck proportional dem Querschnitt, und um denselben in Mafs und Zahl auszudrücken, giebt man an, wie grofs derselbe für die Querschnittseinheit (1 cm^2) ist.

37. Denken wir uns einen horizontal geführten Schnitt durch die Flüssigkeit in halber Höhe derselben gelegt. Der Druck, welchen die obere Hälfte der Flüssigkeit auf die untere Hälfte ausübt, wird nur die Hälfte von dem Druck am Boden betragen. Aber dieser Druck wirkt nicht nur in der Richtung nach unten auf die nächste Flüssigkeitsschicht. Da diese aus frei beweglichen Molekülen besteht, so pflanzen dieselben den Druck, unter dem sie stehen, auch in horizontaler Richtung fort, sie üben einen Seitendruck auf die Wandungen des Gefäfses aus. Bohrt man in diese Seitenwand ein Loch und verhindert durch eine angepresste Platte das Ausfliefsen, so findet man, dass der Druck der Flüssigkeit hier genau halb so grofs ist als am Boden des Gefäfses. Und da dieselbe Betrachtung auch auf jeden andern Querschnitt der Flüssigkeit angewandt werden kann, so folgt ganz allgemein, dass in einer ruhenden Flüssigkeit der Druck an jedem beliebigen Punkte genau proportional ist der Höhe der darüber stehenden Flüssigkeit, und dass dieser Druck nach allen Richtungen gleichmäfsig wirkt.

38. Bisher haben wir den Druck durch einen Gegendruck gemessen, dessen Gröfse (auf die Querschnittseinheit berechnet) man durch ein Gewicht ausdrücken kann. So sagt man z. B., dass der Druck der atmosphärischen Luft auf jeden Quadratcentimeter rund 1 Kg betrage. Man kann aber den Druck von Gasen oder Flüssigkeiten noch auf andre Weise messen. Wenn man in die Seitenwand eines Gefäfses ein Loch bohrt und in dieses eine Glasröhre einfügt, welche erst horizontal verläuft und dann rechtwinklig nach oben abgebogen ist, so steigt die Flüssigkeit in dieser Röhre genau bis zu derselben Höhe, welche sie innerhalb des Gefäfses hat. In diesem Fall ist der Druck der Flüssigkeit auf beiden Seiten des horizontalen Röhrenabschnitts genau der gleiche, und deshalb bleibt die Flüssigkeit in diesem

in Ruhe. Man kann aber auch der Glasröhre andre Formen geben, z. B. die in Fig. 115 dargestellte einer U- oder haarnadelförmig gekrümmten Röhre mit einem horizontalen Ansatz an dem einen vertikalen Schenkel. Letzterer dient zur Verbindung mit demjenigen Raum, in welchem der Druck gemessen werden soll. Man kann dann die Röhre bis zu einer gewissen Höhe mit Quecksilber füllen, welches in beiden Schenkeln gleich hoch steht, so lange kein Druck auf dasselbe einwirkt.* Wenn aber in dem Raum, mit welchem der horizontale Schenkel verbunden ist, ein höherer Druck herscht, so wird das Quecksilber in dem linken Schenkel herabgedrückt und im rechten Schenkel gehoben, und der Unterschied der Quecksilberhöhen in den beiden Schenkeln dient dazu, den Druck zu messen.

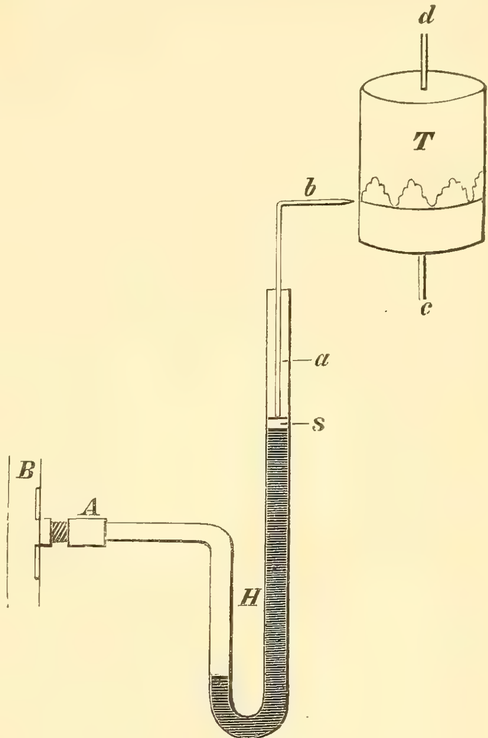


Fig 115.
Manometer.

39. Eine Vorrichtung dieser Art nennen wir einen Druckmesser oder ein Manometer. Der Druck wird in diesem Falle durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule gemessen. Auf den Querschnitt brauchen wir dabei keine Rücksicht zu nehmen; denn dieser Querschnitt ist der gleiche

* In Wirklichkeit lastet auf den Oberflächen des Quecksilbers in beiden Schenkeln der Druck der Atmosphäre; da dieser aber auf beiden Seiten gleich ist, ändert er den Stand des Quecksilbers nicht. Wir brauchen daher auf ihn keine Rücksicht zu nehmen. Deshalb habe ich auch bei der Besprechung des Boden- und Seitendrucks nicht von dem Atmosphärendruck gesprochen, weil auch dabei der gleiche Druck sowohl auf die Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäſs wie auf die Fläche der Öffnung in der Gefäſswand wirkt.

für die Flüssigkeitssäulen in den beiden Schenkeln des Manometers. Dagegen ist das spezifische Gewicht der Flüssigkeit zu beachten, mit welcher das Manometer beschickt ist. Hätten wir unser Manometer mit Wasser statt mit Quecksilber gefüllt, so würde bei gleichem Druck der Höhenunterschied in den beiden Schenkeln 14 mal gröſser ausfallen. Mit Quecksilber gefüllte Manometer gewähren also den Vorteil, dass man bei der Messung groſser Druckwerte ein Manometer von geringer Höhe anwenden kann. Will man aber kleine Drucke messen, so wird man besser thun, Manometer mit Flüssigkeiten von geringem spezifischem Gewicht anzuwenden: Wasser, Alkohol, Öl, Petroleum u. d. g.

Drückt man einen gemessenen Druck in Manometerhöhen aus, so muss man daher immer die Flüssigkeit angeben, mit welcher gemessen worden ist. Ein Centimeter Quecksilberdruck (abgekürzt bezeichnet 1 cm *Hg*) ist gleich rund 14 cm Wasserdruck (14 cm *Aq*) und gleich rund 14 g auf den Quadratcentimeter.

40. Verbindet man das eine Ende A eines langen, geraden, horizontalen Rohrs mit einem Gefäſs, in welchem Wasser ist, während das andre Ende B des Rohrs geschlossen ist, so steht das Wasser in dem ganzen Rohr unter demselben Druck wie an der Verbindungsstelle mit dem Gefäſs. Letzteren können wir durch die Höhe des Wassers über jener Stelle ausdrücken; wir wollen ihn mit H bezeichnen. Jener Druck im Rohr wirkt nach allen Richtungen, also auch seitwärts gegen die Wandungen des Rohrs und wird hier ganz besonders als Seitendruck bezeichnet. Ist die Wand des Rohrs an verschiedenen Stellen durchbohrt und sind in diese Bohrlöcher Manometer eingefügt, so zeigen alle denselben Druck. Öffnen wir jetzt das Ende des Rohrs, so setzt sich die Flüssigkeit in Bewegung. Wir haben es dann nicht mehr mit ruhender, sondern mit strömender Flüssigkeit zu thun. In solcher treten aber neue Erscheinungen in Bezug auf die Druckverhältnisse auf.

Wie eben bemerkt wurde, steht auch das Wasser, welches die Verschlussplatte bei B berührt, unter demselben Druck H wie die ganze übrige Wassermasse im Rohr, so lange das Wasser in Ruhe ist. Wird nun die Verschlussplatte bei B weggenommen so muss das Wasser hier ausflieſsen und das übrige Wasser im

Rohr rückt nach. Sorgen wir dafür, dass der Druck am Ende A stets auf seiner Höhe H erhalten bleibt, indem wir das Wasser im Druckgefäſs genau in dem Maſse, wie es durch das Rohr abläuft, ersetzen, so wird die Strömung im Rohr gleichmäſsig fortgehen. An seinem einen Ende ist der Druck andauernd $= H$, an seinem andern B ist er gleich Null. Der Druckunterschied an den beiden Rohrenden ist offenbar der Grund, warum sich das Wasser vom Rohrende A nach dem Rohrende B hin bewegt.

41. Stellen wir uns an einer beliebigen Stelle des Rohrs zwischen A und B zwei benachbarte, senkrecht auf die Längsrichtung des Rohrs gelegte Schnitte durch das Rohr vor. In dem einen Schnitt befinden sich eine Anzahl Wasserteilchen, welche unter einem uns unbekannten Druck stehen, den wir mit h' bezeichnen wollen. In dem benachbarten Querschnitt, den wir uns nach der Seite von B hin (stromabwärts) gelegen denken, sei der Druck $= h''$. h'' muss kleiner sein als h', denn sonst könnte keine Strömung in der Richtung nach B hin stattfinden. Die Differenz $h' - h''$ ist die einzige Ursache, welche wir für eine solche Strömung an dieser Stelle des Rohrs auffinden können, und die Geschwindigkeit, mit der diese Strömung stattfindet, muss der Differenz $h' - h''$ proportional sein.

Dieselbe Betrachtung können wir auf jede beliebige andre Stelle des Rohrs anwenden. Sei der Druck an einer andern Stelle $= h'''$ und in dem benachbarten stromabwärts gelegenen Querschnitt gleich h^{IV}, so muss h^{IV} kleiner sein als h''' und die Geschwindigkeit an dieser Stelle muss proportional sein der Differenz $h''' - h^{IV}$.

Über die Gröſse der Werte h', h'', h''', h^{IV} wissen wir zunächst noch nichts. Wohl aber können wir etwas über die Differenzwerte $h' - h''$ und $h''' - h^{IV}$ aussagen. Denn da diese die Ursache der Strömung an den betreffenden Stellen ist und die Geschwindigkeit der Strömung diesen Druckdifferenzen proportional sein muss, so folgt: 1) Wenn $h' - h'' > h''' - h^{IV}$, so muss durch den ersten Querschnitt in einer gewissen Zeit mehr Wasser flieſsen als durch den zweiten. 2) Wenn $h' - h'' < h''' - h^{IV}$, so muss durch den ersten Querschnitt weniger Wasser flieſsen als durch den zweiten. 3) Wenn $h' - h'' = h''' - h^{IV}$, dann flieſsen durch beide Querschnitte gleiche Wassermengen.

Da die Röhre starr ist, so müsste im ersten Fall irgendwo

zwischen den beiden Querschnitten das Wasser sich anhäufen oder verdichten, im zweiten Fall aber verdünnen. Beides aber ist bei inkompressiblen Flüssigkeiten unmöglich. Also ist nur der dritte Fall möglich.

Nun haben wir zwei ganz beliebige Querschnitte betrachtet und wir könnten dieselben Betrachtungen für je zwei beliebige andre Querschnirte genau ebenso anstellen. Daraus folgt, dass sie für alle Querschnitte, d. h. also für die ganze Länge des Rohrs gelten. Also kommen wir zu dem Schluss: Wenn eine Flüssigkeit durch ein starres Rohr strömt, so nimmt der Druck von dem einen Ende zum andern hin ganz gleichmäſsig ab.

Diese theoretische Schlussfolgerung wird vollkommen durch den Versuch bestätigt. Denn wenn man an einem solchen Rohr eine groſse Anzahl von Manometern befestigt, so zeigen dieselben, so lange das Rohr verschlossen ist, an allen Stellen den gleichen Druck an. Sobald aber das Rohr geöffnet wird und die Flüssigkeit ausströmt, so stellen sich die Manometer derart ein, dass ihre Höhen in einer geraden Linie liegen, welche von dem Anfangswert H bis zum Endwert 0 ganz gleichmäſsig abfällt.

42. Dieses Verhalten ändert sich, wenn das Rohr nicht durchweg denselben Durchmesser hat. Durch einen gröſseren Querschnitt würde bei gleicher Geschwindigkeit natürlich mehr Wasser flieſsen als durch einen kleinen. Wenn also der Querschnitt eines Rohrs zunimmt, so nimmt die Geschwindigkeit ab, und umgekehrt. Das gilt auch für die Arterien und Venen. Denn bei der fortwährenden Teilung der Arterien wird zwar der Querschnitt der Zweige geringer als der des Stammes, aber die Summe der Querschnitte wird immer gröſser. Das Blut strömt also auf seinem Wege vom Herzen zu den Kapillaren in einem sich fortwährend erweiternden Röhrensystem. Und deshalb nimmt seine Strömungsgeschwindigkeit fortwährend ab und ist in den Kapillaren am geringsten. Indem sich dann die kleinen Venen wieder vereinigen, nimmt der Gesamtquerschnitt bei jeder neuen Vereinigung ab und damit die Geschwindigkeit zu. Die gröſste Geschwindigkeit findet sich also in den groſsen, unmittelbar aus dem Herzen entspringenden Arterien und in den groſsen Venen, die kleinste in den Kapillaren.

Durch die Krümmung der Gefäſse und die Änderung der

Strömungsrichtung bei den Verzweigungen kommen einige Verwicklungen zu stande, auf welche wir nicht eingehen wollen.

43. Ist der Druck am Ausflussende eines Rohrs nicht gleich Null, sondern hat er noch einen positiven Wert, wie es immer der Fall ist, wenn hier noch ein Widerstand zu überwinden ist, so ändert das in den Verhältnissen im übrigen nichts. Wenn wir am Anfang eines Rohrs den Druck H und am Ende desselben den Druck h haben, so fällt der Druck von H zu h gleichmäfsig, und die Druckdifferenz $H—h$ ist als die Ursache der Strömung anzusehen. Diese Differenz verteilt sich auf die ganze Länge des Rohrs, und die kleine Differenz zwischen je zwei benachbarten Querschnitten kann dann ausgedrückt werden durch den Bruch $\frac{H-h}{L}$, wo L die Länge des Rohrs bezeichnet. Man nennt diesen Wert $\frac{H-h}{L}$ das Gefälle der Strömung. Ihm ist die Geschwindigkeit direkt proportional, was wir ausdrücken können durch die Gleichung $V = c. \frac{H-h}{L}$, in welcher V die Geschwindigkeit der Strömung und c einen Wert bezeichnet, welcher von der Natur der Flüssigkeit abhängt.

Aber die Weite und Länge des Rohrs haben noch einen andern Einfluss auf die Geschwindigkeit der Strömung. Es ist nämlich zu beachten, dass wegen der Adhäsion der Flüssigkeit an den Wandungen des Rohrs die äufserste Schicht der Flüssigkeit an der Wandung so fest haftet, dass sie gar nicht an der Strömung teilnimmt, und dass die Strömung der übrigen Flüssigkeit durch die Reibung an dieser ruhenden Schicht verzögert wird. Diese Verzögerung wird in den von der Wand entfernteren Teilen immer geringer, so dass die in der Rohraxe strömenden Teile der Flüssigkeit sich schneller bewegen als die den Wandungen näheren. Je enger das Rohr ist, desto stärker macht sich natürlich jene Verzögerung geltend. Bei sehr engen Röhren, sogenannten Kapillaren, ist sie deshalb am gröfsten. Solche Kapillaren bieten deshalb der Strömung immer einen sehr grofsen Widerstand und zwar umsomehr, je enger und länger sie sind.

44. Wenn wir statt eines starren Rohrs ein elastisches anwenden, so gelten die oben in No. 41 abgeleiteten Gesetze nicht mehr streng. Denn in einem solchen Rohr kann, wenigstens

zeitweise, die durch einen Querschnitt fliefsende Flüssigkeitsmenge gröfser oder kleiner sein als in einem weiter stromabwärts gelegenen Querschnitt, weil dann das Rohr in den dazwischen gelegenen Teilen sich erweitert oder verengert. Noch viel gröfser aber ist der Einfluss, welchen die Elastizität der Röhrenwand ausübt, wenn die Strömung nicht unter konstantem, sondern unter wechselndem Druck stattfindet und wenn an dem Ende des elastischen Rohrs ein grofser Widerstand angebracht ist.

Das ist aber gerade das Verhältnis, welches in unserem Arteriensystem herrscht. Wir wollen unsre Betrachtungen an die Aorta und ihre Verzweigungen anknüpfen; für die A. pulmonaris liegen die Verhältnisse ganz ähnlich, so dass alles für die Aorta zu sagende für jene auch gilt.

Der Querschnitt der Aorta und ihrer Verzweigungen vergröfsert sich, wie wir gesehen haben, mit der Entfernung vom Herzen immer mehr; aber der Querschnitt jedes einzelnen Zweiges wird immer geringer. In den kleinsten Arterien, in den Kapillaren und den kleinsten Venen ist daher der Widerstand so grofs, dass selbst bei sehr hohem Druckunterschied nur eine geringe Strömungsgeschwindigkeit möglich ist.

Nun können wir uns das gesamte Gefäfssystem des sogenannten grofsen Kreislaufs füglich in drei Abschnitte zerlegt denken. Der erste Abschnitt beginnt am linken Ventrikel und umfasst die Aorta und ihre Verzweigungen bis zu den kleinsten Arterien, der zweite umfasst die allerkleinsten Arterien, die eigentlichen Kapillaren und die kleinsten Venen, der dritte endlich die übrigen Venen bis zur Einmündung in den rechten Vorhof. Der Kürze wegen wollen wir den ersten Abschnitt kurzweg „Arterien“, den zweiten „Kapillaren“ und den dritten „Venen“ nennen. Wir können nun zeigen, dass in den Arterien ein grofser Druck herrscht und in den Venen ein kleiner, somit also zwischen dem Anfang und dem Ende der Kapillaren eine grofse Druckdifferenz, vermöge welcher das Blut trotz des grofsen Widerstands durch dieselben hindurch getrieben wird.

45. Wie in Vorl. II, § 13 ff. auseinandergesetzt ist, werden die Arterien durch das in sie aus dem Ventrikel hineingepresste Blut ausgedehnt, und dadurch in ihnen ein starker Druck erzeugt. Denn da bei jeder Systole des linken Ventrikels etwas Blut in die Aorta gepresst wird und da dieses Blut wegen des

Schlusses der Aortenklappen nicht nach dem Herzen zurückweichen, vielmehr die Strömung nur nach den Kapillaren zu erfolgen kann, so häuft sich das bei jeder einzelnen Systole in die Arterien gelangende Blut zunächst in diesen an. Hierdurch werden die Arterien so weit gefüllt und durch die Spannung ihrer Wände der Druck in ihnen so hoch gesteigert ist, dass in der Pause zwischen zwei Systolen ebensoviel Blut aus den Arterien in die Kapillaren abfliefst, als aus dem Herzen durch die Systole eingepresst wird. Ist dieser Zustand erreicht, dann bleibt er bestehen, so lange das Herz gleichmäfsig fortschlägt.

Dahingegen wirkt die Herzthätigkeit entleerend und damit druckvermindernd auf die Venen. In der That herrscht in diesen stets ein sehr geringer Druck.* Der Unterschied zwischen dem hohen Druck in den Arterien und dem niederen Druck in den Venen stellt die Triebkraft vor, welche die Strömung durch die Kapillaren unterhält. Da diese Differenz fast gar nicht schwankt, so ist auch die Strömung in den Kapillaren eine stetige und gleichmäfsige und erfolgt durchaus nicht stofsweise, trotz der einzelnen, von Pausen unterbrochenen Herzkontraktionen.

Dass in der That in den Arterien ein sehr hoher Druck herrscht, so lange das Herz schlägt, davon können wir uns leicht überzeugen, wenn wir mit dem Innern einer Arterie ein Quecksilbermanometer verbinden. Dieser Druck kann z. B. beim Pferde 150—200 mm *Hg* und darüber betragen, beim Hunde 120—150 und kann beim Menschen auf 150 mm und darüber geschätzt werden. Der Druck muss am gröfsten sein am Anfang der Aorta und nach den Kapillaren hin abnehmen, ist aber am Anfang der letzteren immer noch sehr beträchtlich.

In den Venen hingegen ist der Druck sehr klein, 5—10 mm *Hg* etwa, und in den gröfseren Venen in der Nähe des Brustkorbs ist er sogar etwas unter dem Atmosphärendruck. Das Nähere hierüber siehe unter No. 51.

Der Druck ist in den Arterien nicht konstant, sondern er steigt bei jeder Systole etwas an und sinkt dann wieder etwas bis zur nächsten Systole. Um dies besser beobachten zu können,

---

* Dies wird noch unterstützt durch die Einrichtung des Atmungsapparats. Vgl. Vorlesung IV, § 27 und No. 51 ff.

setzt man auf das Quecksilber im offenen Manometerschenkel einen Schwimmer und lässt dessen Schwankungen durch einen an ihm befestigten Stift auf einer rotierenden Trommel aufschreiben, wie dies in Fig. 115, S. 415, angedeutet ist. Man nennt einen solchen Apparat Blutwellenschreiber oder Kymographion.

Wie es die, allerdings nur schematische Fig. 115 zeigt, sieht man zwei Systeme von Blutdruckschwankungen, kleinere, welche von den einzelnen Herzsystolen herrühren, und gröfsere, welche mit den Atembewegungen zusammenhängen. Die Erklärung der letzteren s. in No. 54.

46. Der Druck im Gefäfssystem kann innerhalb weiter Grenzen schwanken. Wenn die Herzarbeit zunimmt, so steigt der Druck in den Arterien und sinkt in den Venen; das Umgekehrte erfolgt, wenn die Herzarbeit abnimmt. Da die Gefäfse unter dem Einfluss des Nervensystems stehen, so steigt der Druck sowohl in den Arterien als auch in den Venen, wenn die Gefäfsverengerer stärker wirken u. z. umsomehr, je gröfser der Abschnitt des ganzen Gefäfssystems ist, auf welchen die Nerven einwirken. Ändert sich der Einfluss des Nervensystems nur in einem beschränkten Gefäfsbezirk, so hat dies einen nur geringen Einfluss auf den Blutdruck des ganzen Körpers. Desto gröfser kann aber die Wirkung auf die Strömung in jenem Gefäfsbezirk sein. Eine Erschlaffung der Gefäfse in einem Teil hat zur Folge, dass durch diese sehr viel mehr Blut strömt; umgekehrt kann eine starke Verengerung, welche hauptsächlich in den kleinen Arterien eintreten kann, weil diese verhältnismäfsig die stärkste Muskulatur haben, bewirken, dass durch diese Arterien und somit auch durch ihre Kapillaren zeitweise fast gar kein Blut fliefst. Liegen die betreffenden Gefäfsgebiete oberflächlich, so kann man den Wechsel der Blutfülle sehen. Die Teile werden rot und warm im ersten Falle, kalt und blass im andern.

Da alle Arterien aus einem Hauptstamm entspringen, so wirkt jede Verengerung oder Erweiterung in einem Gefäfsgebiet auf alle anderen Gefäfse, besonders aber auf die nächstgelegenen zurück. Unterbindet man eine Arterie, so dass in sie und ihre Verzweigungen gar kein Blut gelangen kann, so erweitern sich die zunächst höher aus dem Stamm abgehenden Äste, und führen ihrem Gefäfsgebiete mehr Blut zu. Weil aber die benachbarten Arterien öfter durch Verbindungsäste oder doch durch ihre

Kapillargebiete mit einander zusammenhängen, so gelangt das Blut schliefslich durch die erweiterten Verbindungs- oder Kollateralbahnen wieder zu den anfänglich vom Blut abgeschnittenen Teilen. So kommt es, dass der Chirurg bei Verletzungen oder Operationen es unternehmen kann, selbst gröfsere Arterien zu unterbinden, ohne dass deswegen die von diesen mit Blut versorgten Teile absterben müssen.

---

5. Der Puls.

47. Die Erweiterung, welche am Anfang der Aorta durch das bei jeder Systole in dieselbe hineingeworfene Blut entsteht, pflanzt sich in der Arterienwand fort und erzeugt die Erscheinung des Pulses. (Vorlesung II, § 16 ff.). Diese Fortpflanzung des Pulses darf mit der fortschreitenden Bewegung des Blutes innerhalb der Gefäfse nicht verwechselt werden. Sie erfolgt mit viel gröfserer Geschwindigkeit als jene u. z. beträgt dieselbe etwa 9—10 m in der Sekunde.

An einer blofsgelegten Arterie sieht man die Erscheinung des Pulses als eine plötzliche Erweiterung und Wiederverengerung des Rohrs. An oberflächlich gelegenen Arterien, besonders an solchen Stellen, wo jene auf einer harten Unterlage (Knochen u. d. g.) liegen, kann man den Puls unter Umständen auch sehen, oder durch den aufgelegten Finger fühlen.

Da jeder Herzsystole ein Pulsschlag entspricht, so benutzt man den Puls, um an ihm die Häufigkeit der Herzschläge zu zählen. Der Puls bietet aber dem geübten Beobachter auch aufserdem allerlei Interessantes, da sich in ihm die Beschaffenheit des Gefäfssystems und die Art der Herzkontraktion ausprägt. Die alten Ärzte, welchen freilich manches andre Hilfsmittel der Untersuchung abging, unterschieden daher allerlei Pulsarten, welche zum Teil wichtige Schlüsse auf krankhafte Störungen des Gefäfsapparates zu ziehen gestatteten. In neuerer Zeit hat man Apparate ersonnen, mit deren Hilfe man den Puls genauer untersuchen kann.

48. Presst man gegen eine nur von dünner Haut bedeckte und auf einer festen Unterlage liegende Arterie (z. B. die A. radialis am Handgelenk) ein an einer starken Feder befestigtes

Plättchen, so wird die Arterie etwas eingedrückt, soweit bis der Druck der Feder und der Druck des Blutes im Innern der Arterie einander im Gleichgewicht halten. Wenn nun die Pulswelle unter der gepressten Stelle hindurchgeht, so nimmt mit der Erweiterung der Arterie vorübergehend auch der Druck in ihr etwas zu, und darum wird die Feder nachgeben, das Plättchen wird etwas gehoben. Diese geringe Bewegung kann auf einen Fühlhebel übertragen und dadurch vergrößert werden, und diese Bewegung des Hebelendes kann auf einer an derselben vorbeigezogenen Fläche aufgeschrieben werden, ähnlich wie dies mit den Schwankungen des Blutdrucks geschieht (s. No. 45). Ein solches Instrument nennt man einen Pulsschreiber oder einen Sphygmographen und die von ihm gelieferten Zeichnungen Pulskurven oder sphymographische Kurven.

49. Eine normale Pulskurve hat etwa das in Fig. 116 dargestellte Aussehen. Man unterscheidet an ihr einen steilen ansteigenden und einen allmählich abfallenden Schenkel. Ersterer entspricht der Erweiterung, letzterer der Wiederverengerung der Arterie. Erinnert man sich, dass der Ursprung des Pulses am Anfang der Aorta ist, und dass die dort entstehende Ausdehnung der Arterie durch die ganz plötzlich in sie hineingeworfene Blutmenge zu stande kommt, so begreift man, dass diese Erweiterung sehr schnell erfolgen muss. Wenn aber die Systole des Herzens aufhört und die Semilunarklappen sich schliefsen, so kann die Wiederverengerung der Arterie nur erfolgen, indem sie den empfangenen Blutüberschuss nach peripherisch gelegenen Teilen verdrängt. Da diese Teile auch schon voll Blut sind und dies wegen des grofsen Widerstandes, den die Strömung in den engeren Teilen des Gefäfssystems erfährt, nur sehr langsam abfliefsen kann, so versteht man, warum auch die Wiederverengerung der erweiterten Arterie nur langsam erfolgen kann.

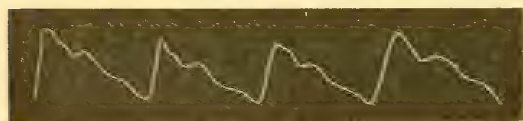


Fig. 116.

Pulskurven.

An dem absteigenden Schenkel der Pulskurve sieht man stets einige sekundäre Erhebungen, von denen besonders die erste, welcher eine etwas tiefere Senkung der Kurve vorhergeht,

am deutlichsten zu sein pflegt. Jene kleinen sekundären Erhebungen rühren höchst wahrscheinlich von Reflexionen her, welche die Pulswelle an verschiedenen Stellen des Arteriensystems erfährt. Die regelmäfsig auftretende Senkung aber mit der ihr folgenden gröfsten sekundären Hebung hat verschiedene Deutungen erfahren. Am wahrscheinlichsten ist die Erklärung, dass zu Anfang der Diastole, ehe die Semilunarklappen sich schliefsen, die Verengerung des Aortenanfangs schnell erfolgt, dass sie dann aber im Moment des Klappenschlusses eine plötzliche Unterbrechung erfährt.

Aus der obigen Erklärung der Wirkungsweise des Sphygmographen geht hervor, dass er eigentlich ein Manometer ist, welches aber nicht die absoluten Werte des Druckes angiebt, wie er in jedem Augenblicke innerhalb der Arterie herrscht, sondern nur seine Schwankungen. Dies wird auch bestätigt durch Apparate, welche wie das in Fig. 115 abgebildete Manometer mit dem Innern der Arterie verbunden sind, aber die dort erfolgenden Druckschwankungen genauer angeben, als es das Quecksilbermanometer vermag. Mit derartigen Apparaten erhält man nämlich Kurven, welche den sphygmographischen vollkommen gleichen.

Man kann auch den absoluten Druck messen, welcher in der Arterie herrscht, ohne dieselbe zu eröffnen, indem man den von aufsen auf sie ausgeübten Druck soweit steigert, dass sie vollkommen zusammengepresst wird. Man erkennt dies daran, dass unmittelbar hinter der zusammengedrückten Stelle der Puls verschwindet.

50. In Krankheitsfällen, wo entweder die Thätigkeit des Herzens oder die Verhältnisse in den Gefäfsen von der Norm abweichen, kann die Pulskurve ganz anders aussehen als die normale. Ist z. B. die Öffnung der Aorta sehr eng, so dass das Blut bei der Systole nur langsam in dieselbe eindringen kann, so wird die Erweiterung der Arterie sehr langsam erfolgen, der ansteigende Schenkel der Pulskurve wird nicht steil, sondern schräger verlaufen. Sind die Klappen unfähig zu schliefsen (insuffizient), so dass ein Teil des Blutes in den Ventrikel zurückströmen kann, so wird die Arterie sich sehr schnell verengern, der absteigende Schenkel wird sehr steil sein. Auch der absolute Grad des Blutdrucks wird Einfluss auf die Pulskurve haben,

denn eine wenig gespannte Arterie wird leichter und schneller erweitert werden und sich schneller wieder verengern als eine stark gespannte.

Ein geübter Finger kann, wie schon gesagt, vieles fühlen, was diese Pulskurven zeigen. Es ist sehr lehrreich, die feinen Unterschiede der Pulsarten kennen zu lernen, welche die alten Ärzte auf Grund des bloſsen Fühlens mit dem Finger unterschieden, da sie die physikalischen und physiologischen Verhältnisse sehr gut erläutern.

1) Pulsus rarus und frequens (seltener und häufiger Puls). Dies bezieht sich nicht auf eine Eigenschaft des Pulses, sondern auf die Anzahl, welche von der Anzahl der Herzschläge abhängt.

2) Pulsus magnus und parvus (groſser und kleiner Puls) bezeichnet den Grad der Ausdehnung oder die Höhe der Erhebung, welche bei der Ausdehnung erreicht wird.

3) Pulsus celer und tardus (schneller und langsamer Puls) bezeichnet die Geschwindigkeit mit der die Ausdehnung bezw. die Wiederverengerung erfolgt, also bei der graphischen Aufzeichnung die Steilheit der Pulskurvenschenkel. Diese Bezeichnungen der Pulsqualität dürfen nicht mit den unter 1) aufgeführten der Pulshäufigkeit verwechselt werden.

4) Pulsus durus und mollis (harter und weicher Puls) bezeichnen die Kraft, welche der fühlende Finger anwenden muss, um den Puls zu unterdrücken; sie beziehen sich also auf den Druck innerhalb der Arterie.

---

6. Die Atembewegungen und ihre Beziehungen zum Kreislauf des Blutes.

51. Die luftdichte Einfügung der Lungen in den Brustkorb und der Umstand, dass dieselben stets über ihre natürliche Gröſse ausgedehnt sind, dass sie also wegen ihrer Elastizität das Bestreben haben sich zu verkleinern, hat zur Folge, dass innerhalb des Brustkorbs, zwischen dessen Wandungen und den Lungen, der Druck stets kleiner ist als der Atmosphärendruck. Trotzdem können sich die Lungen nicht von der Brustwand entfernen, weil die elastische Kraft der Zusammenziehung der Lungen viel

kleiner ist, als der auf ihrer Innenfläche lastende atmosphärische Druck, welcher durch die Luftröhre und die Bronchien zu dieser Innenfläche freien Zutritt findet. Sobald jedoch der Brustkorb an irgend einer Stelle eröffnet wird und damit auch an der äufsern Oberfläche der Lungen die Atmosphäre ihren Druck auszuüben vermag, ziehen sich die Lungen vermöge ihrer Elastizität zusammen und es dringt Luft zwischen Brustwand und Lungenoberfläche ein.

52. Solange der Brustkorb unversehrt ist, wirkt der Atmosphärendruck auf dessen äufsere Fläche und diese giebt nach, soweit sie beweglich ist, bis die Spannung der nach innen ausgedehnten Teile gleich ist der elastischen Spannung der Lungen.

Die Nachgiebigkeit ist aber nur an dem sehr dünnen Zwerchfell einigermafsen erheblich. Dasselbe wird infolgedessen kuppelförmig nach oben in den Brustkorb hineingedrängt, so dass seine äufsern Teile an der Innenwand des Brustkorbes unmittelbar anliegen und nur sein innerer Teil (das Centrum tendineum, vgl. Fig. 23, S. 96) eine etwas schräg von vorn nach hinten und von rechts nach links geneigte quere Scheidewand zwischen Brustkorb und Bauchhöhle bildet. Da jene äufsern Teile aus Muskelfasern bestehen, welche an dem untern Rippenrand und der Wirbelsäule entspringen und nach innen zu dem sehnigen Teile verlaufen, so sind diese Fasern winkelartig geknickt.

Wenn sie sich verkürzen, so streben sie danach, sich gerade zu strecken. Dadurch entsteht zunächst am ganzen untern Umfang des Brustkorbes ein keilförmiger, mit der einen Kante nach unten gerichteter Raum, in welchen die Lungen durch den äufsern Luftdruck hineingedrängt werden. Bei noch stärkerer Verkürzung der Fasern wird auch die Mitte des Zwerchfells nach unten gezogen und damit der Raum der Brusthöhle noch mehr auf Kosten der Bauchhöhle in der Richtung nach unten vergröfsert. Die Baucheingeweide werden deshalb durch die Zusammenziehung des Zwerchfells verdrängt, und weil die Bauchwandungen vorn und an den Seiten nachgiebiger sind als hinten, entsteht an diesen Stellen eine Vorwölbung, welche man bei seitlicher Betrachtung des Unterleibs gut sehen, bei Auflegung der Hand auf den Bauch fühlen kann.

Das Zwerchfell ist dementsprechend der wichtigste Einatmungs- oder Inspirationsmuskel. Aber auch die Seitenwände

des Brustkorbs sind, wenn auch in geringerem Grade, beweglich. Die Rippen sind in ihrer Ruhelage nach abwärts geneigt, können aber infolge ihrer Gelenkverbindung mit der Wirbelsäule noch weiter gesenkt, oder über ihre Ruhelage gehoben werden. Bei der Hebung der Rippen entfernen sich ihre Seitenteile von der Mittelebene, ihre vordern Teile und mit ihnen das Brustbein von der Wirbelsäule. Hieraus folgt, dass alle Muskeln, welche die Rippen heben, zugleich den Brustkorb erweitern, also Inspirationsmuskeln sind, alle Muskeln hingegen, welche die Rippen senken, den Thorax verengern, also Exspirationsmuskeln sind.

53. Die Verengerung der Brusthöhle kann aber noch auf eine andere Weise zu stande kommen. Wenn nämlich die in den Bauchwandungen enthaltenen Muskeln sich zusammenziehen, üben sie einen Druck auf die Baucheingeweide aus; diese drängen das Zwerchfell nach oben und verkleinern so die Brusthöhle.

Wenn das Zwerchfell sich zusammenzieht und dann die Stimmritze verschlossen wird, so bildet die in den Lungen eingeschlossene Luft ein starkes elastisches Widerlager und verhindert das Zwerchfell nach oben zu steigen. Ziehen sich unter diesen Umständen die Bauchmuskeln zusammen, so wird ein starker Druck auf die Baucheingeweide ausgeübt, welcher im stande ist einen Teil des Inhalts der Bauchhöhle nach abwärts in das kleine Becken und durch dieses hindurch nach aufsen zu verdrängen. Man nennt dies die Bauchpresse. Während der Wirkung der Bauchpresse sind, wie man aus dem Vorhergehenden sieht, die Atembewegungen vollkommen unterbrochen.

54. Auch die in der Brusthöhle liegenden Eingeweide, das Herz und die grofsen Gefäfse, stehen unter dem negativen Druck. Jemehr sich die Lungen ausdehnen, desto stärker wird ihr elastisches Bestreben sich zu verkleinern, desto gröfser also der Unterschied des im Thoraxraum herrschenden von dem atmosphärischen Druck. Daher muss der negative Druck im Thorax kleiner werden, d. h. an Negativität zunehmen bei der Einatmung, an Negativität abnehmen bei der Ausatmung. Dies hat einen bedeutenden Einfluss auf die Strömung des Blutes in den Venen, welches bei der Einatmung nach dem Thorax, also nach dem Herzen hin angesogen wird, während ein Rückströmen durch die zahlreichen, in den Venen enthaltenen Klappen verhindert wird. Ähnlich wirken die Atembewegungen auf die Strömung in den

Lymphgefäfsen. In den Arterien dagegen, in welchen die Strömung vom Herzen und dem Thorax fortgerichtet ist, wird bei der Einatmung diese Strömung etwas verringert, bei der Ausatmung etwas vergröfsert. Man sieht daher auch, wenn man den Blutdruck in einer aufserhalb des Thorax gelegenen Arterie beobachtet, dafs derselbe bei der Einatmung etwas ab- bei der Ausatmung etwas zunimmt, wie dies in Fig. 115 (S. 415) auch angedeutet ist. Doch sind diese Schwankungen im Vergleich zu dem hohen in den Arterien herrschenden Druck nur gering.

55. In blutreichen Organen zeigen sich diese kleinen Schwankungen der Blutströmung durch Veränderungen ihres Volumens. Bei der Einatmung, wo der Zufluss verringert, der Abfluss erleichtert ist, nimmt die gesamte in dem Organ vorhandene Blutmenge etwas ab; bei der Ausatmung nimmt sie zu. Man kann die Volumensschwankungen deutlich wahrnehmen an dem Gehirn, wenn der Schädel durch Operation oder Verletzungen eröffnet ist oder, wie bei Kindern in den ersten Lebensmonaten, noch nicht vollkommen knöchern geschlossen ist. An diesen Lücken des harten Schädeldaches, den sogenannten Fontanellen fühlt man, wie das Gehirn bei der Ausatmung etwas in die weiche Stelle hineingedrängt wird, während es bei der Inspiration etwas einsinkt. Bei Eröffnung des Schädeldaches kann man diese mit den Atembewegungen zusammenfallenden Bewegungen des Gehirns auch sehen. Man darf jedoch hieraus nicht schliefsen, dass solche Hirnbewegungen auch innerhalb des vollkommen knöchern geschlossenen Schädels stattfinden. Denn die ganz mit Wasser durchtränkte Gehirnsubstanz kann in diesem Falle ihr Volumen nicht ändern. Wohl aber ist es möglich, dass die Strömung des Blutes innerhalb der Gehirngefäfse abwechselnd etwas beschleunigt und verzögert wird, und diese Schwankungen der Blutströmung scheinen nicht ohne Einfluss auf die Verrichtungen des Gehirns zu sein.

---

7. Die Blutgase und die Atmung.

56. Das Blut enthält an Gasen Sauerstoff, Kohlensäure und (in sehr geringer Menge) Stickstoff. Letzteres Gas spielt bei der Atmung weiter keine Rolle; es ist im Blute einfach absor-

biert, während die beiden andern Gase zum Teil absorbiert, zum Teil chemisch gebunden sind.

Die Menge von Sauerstoff und von Kohlensäure, welche im Blut absorbiert enthalten ist, macht nur einen geringen Teil der gesamten Blutgase aus; der Rest ist an gewisse Bestandteile des Bluts chemisch gebunden, folgt deshalb auch nicht den Absorptionsgesetzen (vgl. No. 5). Deshalb hängt die aufgenommene Gesamtmenge nur wenig von dem Druck ab, unter welchem die Gase stehen, sondern fast ausschliefslich von der Menge jener Stoffe, mit denen sie sich chemisch verbinden.

57. Reines Blutserum, welches ganz frei von Blutkörperchen ist, nimmt nur sehr wenig Sauerstoff auf, und die Menge des aufgenommenen folgt ganz dem Absorptionsgesetz. Dagegen nimmt defibriniertes Blut eine viel gröfsere Menge Sauerstoff auf, und diese Menge ist vom Druck fast ganz unabhängig. Nun unterscheidet sich defibriniertes Blut von Blutserum nur durch seinen Gehalt an Blutkörperchen. Ebenso verhalten sich aber auch reine Lösungen von Hämoglobin (vgl. No. 20 sowie Vorlesung III, § 4 und 5). Also ist es das Hämoglobin, welches Sauerstoff chemisch binden kann. Aber diese Bindung ist doch nur eine lockere. Denn wenn man ein andres Gas (Wasserstoff z. B.) lange Zeit durch Blut durchleitet oder das Blut in einen luftleeren Raum bringt, so kann man ihm nicht nur den absorbierten, sondern auch den chemisch gebundenen Sauerstoff entziehen, wobei es ganz dunkel wird.

Ähnlich ist das Verhalten von Blut gegen Kohlensäure, nur dass ein etwas gröfserer Teil von diesem Gase in absorbiertem Zustande im Blute sich befindet. Aber gegen Kohlensäure verhält sich reines Serum ganz ebenso wie ganzes Blut. Der Körper, welcher Kohlensäure chemisch bindet, muss also im Serum enthalten sein. Da nun Serum alkalisch reagiert und besonders Natrium in solcher Menge enthält, dass dasselbe viel Kohlensäure binden kann, so entstehen bei dem Zusammentreffen von Blut und Kohlensäure solche chemische Verbindungen, in denen zwar ein Teil der Kohlensäure ziemlich fest, ein andrer Teil derselben aber nur locker gebunden ist. Dieser letztere Teil kann deshalb auch durch fremde Gase oder durch die Luftleere aus dem Blute entfernt werden, der erstere aber nur durch Zusatz stärkerer Säuren.

58. Dieses eigentümliche Verhalten des Blutes gegen Gase erklärt die Vorgänge bei der Atmung. Wenn das Blut in den Lungen mit der verhältnismäfsig an Sauerstoff reichen Luft der Alveolen in Berührung kommt, so kann es von diesem viel aufnehmen; doch wird es in der Regel nicht ganz gesättigt die Lungen verlassen, weil die Zeit der Durchströmung durch die Kapillaren zu kurz ist, um eine vollkommne Sättigung zu gestatten, wenn nicht, was nur ausnahmsweise der Fall ist, die Lungenluft sehr reich an Sauerstoff ist. In der Regel enthält das arterielle Blut, welches die Lunge verlässt, 15—18 $^0/_0$ Sauerstoff, während etwa 20 $^0/_0$ zur vollständigen Sättigung notwendig sind. Während dieses Blut durch das linke Herz und durch die Arterien strömt, ändert sich seine Zusammensetzung nicht merklich. In den Kapillaren aber ist die Sachlage eine andre. Hier strömt das Blut nur langsam und ist von den Geweben nur durch die sehr dünnen und deshalb durchlässigen Wandungen getrennt. In den Geweben ist aber immer nur sehr wenig freier Sauerstoff enthalten, denn aller, der in sie eindringt, geht chemische Verbindungen mit den Gewebsbestandteilen ein. Die Gewebe wirken daher auf das Blut wie ein sauerstoffleerer Raum; das Oxyhämoglobin wird teilweise zerlegt, umsomehr, je länger das Blut in den Kapillaren verweilt, also je langsamer es fliefst, und je ärmer die Gewebe an Sauerstoff sind, d. h. je mehr sie durch ihre Thätigkeit verzehren. Das Blut, welches die Gewebe verlässt und durch die Venen zum Herzen zurückströmt, enthält in der Regel nur noch 10—14 $^0/_0$ Sauerstoff.

In den Geweben entsteht aber fortwährend Kohlensäure und ihre Spannung muss daher so grofs werden, dass das Blut sie aufnehmen muss. Diese locker gebundene Kohlensäure gelangt mit dem venösen Blut zu den Lungen. Hier kommt es wieder mit der verhältnismäfsig kohlensäurearmen Alveolenluft in Berührung und verliert deshalb Kohlensäure, während es Sauerstoff aufnimmt.

59. Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Menge der in der Lunge abgegebenen Kohlensäure, wenn man hinreichend lange Zeiträume betrachtet, gleich sein muss der in der gleichen Zeit im Körper gebildeten Kohlensäure. Denn wenn etwa mehr abgegeben würde, als gebildet wird, so müssten alle Gewebe sehr kohlensäurearm werden und könnten dann auch nur wenig an

das Blut abgeben. Vorübergehend kann aber ein solcher Wechsel im Kohlensäuregehalt sehr wohl eintreten. Man darf daher nicht, wenn man die Kohlensäureausgabe in einer kurzen Zeit gemessen hat, ohne weiteres schliefsen, dass gerade ebensoviel in derselben Zeit gebildet worden sei. Es kann auch mehr oder weniger sein. Und dasselbe gilt auch von der Sauerstoffaufnahme und dem Sauerstoffverbrauch. Auch diese können innerhalb kurzer Zeiträume sehr verschieden sein. Atmungsversuche müssen daher, wenn man aus ihnen auf die wirklichen Vorgänge im Innern des Körpers Schlüsse ziehen will, hinreichend lange Zeit fortgesetzt werden.

---

8. Der Harn.

60. Die Zusammensetzung des Harns ist für das Verständnis der Lebensvorgänge deshalb von besondrer Wichtigkeit, weil der in ihm enthaltene Harnstoff das wichtigste Produkt darstellt, welches bei der Umsetzung der stickstoffhaltigen Körperbestandteile, namentlich der Eiweifskörper entsteht.

Wir haben gesehen, dass alle Gewebsbestandteile Gemenge darstellen, in denen Eiweifskörper, Fette und Stoffe von der Zusammensetzung der Kohlenhydrate die wichtigsten organischen Stoffe sind. Sie sind in den Geweben mit vielen anderen organischen Stoffen sowie mit Wasser und vielen anorganischen Stoffen (Salzen) gemischt. Bei dem mit den Lebensvorgängen unzertrennbar verbundenen Oxydationsprozess entstehen aus den Kohlenhydraten und Fetten Kohlensäure und Wasser; die Eiweifskörper aber werden dabei gespalten; aus dem einen Teil entsteht ebenfalls Kohlensäure und Wasser, aus dem andern Teil aber hauptsächlich Harnstoff. Dieser letztere Teil enthält allen in den Eiweifskörpern vorhanden gewesenen Stickstoff. Wenn man daher die Menge des ausgeschiedenen Harnstoffs kennt, so kann man aus ihm die Menge des umgesetzten Eiweifses berechnen.

61. Die Menge der im Schweifs oder auf anderen Wegen ausgeschiedenen Stickstoffverbindungen ist so gering, dass sie gegen die im Harn ausgeschiedenen kaum in Betracht kommt. Neben dem Harnstoff sind in diesem noch geringe Mengen

andrer stickstoffhaltiger Produkte enthalten (namentlich Harnsäure), die etwas ärmer an Sauerstoff sind als jener. Alle diese können angesehen werden als allmähliche Übergangsstufen, welche sich bei der Oxydation der Eiweifskörper bilden und deren letzte, höchste Oxydationsstufe eben der Harnstoff ist. Zu weiterer, noch höherer Oxydation kann es bei den im tierischen Organismus vorhandenen Bedingungen nicht kommen. Wohl aber kann zuweilen die Oxydation geringer ausfallen. Dann nimmt die Menge des Harnstoffs ab und die jener Vorstufen, namentlich der Harnsäure zu. So enthält z. B. der Harn der Vögel und Schlangen verhältnismäfsig viel mehr Harnsäure als der der Säugetiere. Auch durch Krankheiten kann diese Verminderung der Oxydation veranlasst sein, wie wir es z. B. bei der Gicht sehen.

Ein erwachsener Mensch scheidet in 24 Stunden etwa 1500 g Wasser und in diesen gelöst etwa folgende Mengen aus: 33 g Harnstoff, 0,55 g Harnsäure, 0,4 Hippursäure, 0,9 Kreatinin, 10 g verschiedene Farbstoffe und andre organische Stoffe und etwa 28 g verschiedene anorganische Salze.

Diese letzteren sind zum allergröfsten Teil mit der Nahrung aufgenommen worden, haben den Organismus also gleichsam nur durchwandert, ohne erhebliche chemische Veränderungen erlitten zu haben. Tierische und pflanzliche Nahrung, wie wir sie aufzunehmen pflegen, enthält immer solche Salze, namentlich Phosphate und Carbonate des Kaliums, Calciums, Magnesiums, auch etwas Kochsalz, welches ja auch immer noch in mehr oder weniger gröfserer Menge den Speisen zugesetzt zu werden pflegt. In geringer Menge entstehen auch Salze aus dem bei der Zersetzung der Eiweifskörper sich abspaltenden Schwefel und Phosphor. Soweit nun alle diese Verbindungen löslich sind, müssen sie durch Diffusion aus dem Darm und aus dem Gewebssaft in das Blut und aus diesem in den Harn übergehen, sobald sie sich im Blut über eine gewisse Menge angesammelt haben. Ihre Zusammensetzung im Harn muss daher wechseln je nach der Menge der einzelnen Stoffe in der Nahrung. Neben den weit verbreiteten, fast immer in der Nahrung aufgenommenen und auch fast immer im Harn erscheinenden Salzen müssen daher zuweilen auch andre auftreten, welche nur gelegentlich, sei es zufällig oder absichtlich, der Nahrung zugefügt wurden, z. B. als Arzneimittel.

Je leichter löslich und je leichter diffusibel solche Stoffe sind, desto schneller erscheinen sie im Harn. Nimmt man z. B. Jodkalium ein, so kann man dasselbe schon nach kurzer Zeit im Harn nachweisen.

62. Nicht anders wie diese anorganischen Stoffe verhalten sich auch viele organische, z. B. Farbstoffe der pflanzlichen Nahrungs- oder Arzneimittel (Rhabarber u. a.) oder die sogenannten Alkaloide (Thein u. a.). Nur werden diese Stoffe öfter während ihres Aufenthalts im Organismus chemisch verändert, so dass statt der aufgenommenen andre, aus ihnen entstandene im Harn ausgeschieden werden. Aus den pflanzensauren Salzen der Früchte z. B. werden Carbonate, aus der Benzoësäure Hippursäure (vgl. No. 24).

Dazu kommen dann noch Stoffe, welche ebenso wie der Harnstoff und seine Verwandten in den Geweben entstanden oder doch so verändert sind, dass ihr Zusammenhang mit Stoffen der Nahrung schwer nachweisbar wird. Hierher gehören die im vorigen Paragraphen unter der Bezeichnung Farbstoffe und andre organische Stoffe zusammengefassten Substanzen.

Im Harn normaler Menschen werden Eiweifs und Zucker niemals oder doch nur in winzigen Spuren gefunden, während sie bei gewissen Krankheiten reichlich erscheinen. Vom Eiweifs ist dies wegen seiner geringen Diffusibilität leicht zu verstehen. Für den Zucker aber, der bei gemischter Kost reichlich aus dem Darm ins Blut eingeführt wird, erhalten wir eine Erklärung nur durch die in Vorlesung V, § 24 besprochene Fähigkeit der Leber, den ihr durch die Pfortader zugeführten Zucker in Glykogen umzuwandeln und als solches aufzuspeichern. Die geringen Mengen von Zucker, welche dann wieder in den Pausen zwischen den Nahrungsaufnahmen aus diesem Glykogen entstehen und durch das Lebervenenblut aus der Leber fortgespült werden, scheinen der Verbrennung anheimzufallen und gelangen als Kohlensäure und Wasser zur Ausscheidung. Wenn aber durch krankhafte Veränderungen entweder die Glykogenbildung vermindert oder die Zuckerbildung vermehrt oder endlich die Oxydation herabgesetzt ist, dann kann es zur Zuckerausscheidung, zur sogenannten Zuckerkrankheit, kommen. In letzterer Beziehung erscheint es interessant, dass geringe Grade von Zuckerkrankheit sehr häufig zusammen mit gichtischen Erscheinungen auftreten,

welche ja gleichfalls durch verminderte Oxydation erklärt werden kann (vgl. No. 61).

---

9. Muskeln, Drüsen und Nerven.

63. Muskeln, Drüsen und Nerven, so sehr sie auch histiologisch und in der Art ihrer Thätigkeit verschieden erscheinen, gehören doch physiologisch innig zusammen. Zunächst ist hervorzuheben, dass Muskeln und Drüsen darin übereinstimmen, dass sie in zwei verschiedenen physiologischen Zuständen sein können: im Zustand der Ruhe und in dem der Thätigkeit; dann, dass beide unter der Botmäſsigkeit der Nerven stehen, durch welche sie veranlasst werden, aus dem einen Zustand in den anderen überzugehen. Aber diesen Einfluss üben die mit den Muskeln und Drüsen zusammenhängenden Nerven auch nur zeitweise und nur unter gewissen Umständen aus. Also müssen wir auch bei den Nerven den Zustand der Ruhe von dem der Thätigkeit unterscheiden.

Von den beiden Elementen, aus denen sich das Nervensystem zusammensetzt, den Nervenfasern und den Nervenzellen (vgl. Vorlesung XII, § 41 ff.), besitzen nur die letzteren, welche in den Centralorganen des Nervensystems sehr zahlreich vorhanden sind, und auſserhalb desselben spärlicher, meist in kleinen Haufen oder Gruppen, sogenannten Ganglien, vereinigt vorkommen, die Fähigkeit, aus inneren, in den Lebensvorgängen selbst bedingten Ursachen aus dem Zustand der Ruhe in den der Thätigkeit überzugehen oder, wie es auch wohl genannt wird, in Erregung zu geraten. Manche dieser Zellen sind freilich während des ganzen Lebens immer in diesem Zustand, z. B diejenigen, welche die Atembewegungen und die Herzbewegungen veranlassen (Vorlesung IV, § 24, 31; Vorlesung XI, § 20; Vorlesung II, § 26). Man hat ihnen den Namen „automatische Nervenzellen“ gegeben. In anderen entsteht diese Erregung nur unter gewissen, in ihrem Wesen uns vollkommen unbekannten Bedingungen, welche wir als Wille oder Willkür bezeichnen (Vorlesung I, § 17, Vorlesung XI, § 11). Derartige Zellen kommen, soviel wir wissen, nur im Groſshirn u. z. in dessen grauer Rinde vor. Es giebt aber auch Zellen, welche diese Fähigkeit der Erzeugung der Erregung überhaupt nicht besitzen.

Dahin gehören alle diejenigen, welche nur durch zuführende Nerven in Erregung versetzt werden und Empfindungen vermitteln.

64. Wenn in einer der ersterwähnten Nervenzellen die Erregung entstanden ist, so pflanzt sie sich auf die aus den Zellen entspringenden Nervenfasern fort. Letztere können aber auch durch äufsere, unmittelbar auf sie einwirkende Einflüsse in den thätigen Zustand versetzt werden. Solche Einflüsse nennt man Reize und man schreibt den Nervenfasern die Eigenschaft der Reizbarkeit oder Erregbarkeit zu. Wenn man bei einem Tiere einen motorischen Nerven blofslegt d. h. einen solchen, welcher Fasern zu einem Muskel abgiebt und denselben reizt, so zuckt der Muskel. Der Vorgang ist ein sehr zusammengesetzter. Zunächst wird der Nerv an der gereizten Stelle in den thätigen Zustand versetzt. Diese Erregung pflanzt sich in der Nervenfaser von Teilchen zu Teilchen fort u. z. mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 m in einer Sekunde. Am Ende der Nervenfaser angelangt, da wo diese mit der Muskelfaser zusammenhängt (Vorlesung XII, § 41), bewirkt die Erregung der Nervenfaser eine Erregung der Muskelfaser und macht, dass diese in den thätigen Zustand übergeht, was sich als Verkürzung und dadurch verursachte Bewegung äufsert. Machen wir den Versuch mit Nervenfasern, welche nicht zu Muskeln, sondern zu Drüsen gehen, so ist der Vorgang ein ganz ähnlicher. Aber die Thätigkeit, welche in den Zellen der Drüsen hervorgerufen wird, äufsert sich ganz anders, weil die Drüse, entsprechend ihrem andern Bau, ganz andre Eigenschaften hat als die Muskelfaser. Sie kann sich nicht zusammenziehen, aber sie sondert ein Sekret ab, welches verschiedene chemische Stoffe enthält, die bei den verschiedenen Drüsen sehr verschieden sein können.

Diejenigen Nervenfasern, welche weder mit Muskeln noch mit Drüsen zusammenhängen, können ebenso wie jene erregt werden, sowohl an irgend einer Stelle ihres Verlaufs als auch an ihren peripheren Enden, wo sie in der Regel mit besonderen für die Aufnahme bestimmter Arten von Reizen eingerichteten Organen zusammenhängen (Vorlesung VIII, § 6 ff). Gelangt die Erregung, indem sie sich in den Nervenfasern fortpflanzt, zum Gehirn, so entsteht in diesem der Vorgang der Empfindung, wahrscheinlich in besonderen Zellen (s. No. 63).

Alle Nervenfasern sind, soviel wir wissen, einander vollkommen gleich. Ihre so sehr verschiedenen Wirkungen hängen nur von den Verschiedenheiten der Endapparate ab, mit denen sie verbunden sind. Dies gilt insbesondre auch von den Empfindungsnerven, deren Erregungen zu verschiedenen Teilen des Grofshirns hingeleitet werden und darum so verschiedene Empfindungen wie Gesichts-, Gehörsempfindungen u. s. w. veranlassen können.

65. Die Erforschung der Vorgänge innerhalb der Nervenfasern und Nervenzellen ist dadurch sehr erschwert, dass äufserlich sichtbare Veränderungen mit ihrer Thätigkeit nicht verbunden sind. Über die Empfindungen vollends können wir eigentlich nur durch Selbstbeobachtung etwas Sicheres und nur wenig durch Beobachtung andrer Menschen, noch weniger durch Versuche an Tieren erfahren. Viele wertvolle Aufschlüsse verdanken wir den Beobachtungen an Kranken, namentlich in Fällen, wo die Erkrankung auf einzelne Stellen des Gehirns beschränkt bleibt. Soweit die aus solchen Beobachtungen gezogenen Schlussfolgerungen mit den aus Tierversuchen abgeleiteten übereinstimmen, stützen sie sich gegenseitig und erhalten dadurch einen höheren Grad der Sicherheit.

Auf solche Weise hat man feststellen können, dass die beschränkte Verletzung oder Erkrankung bestimmter Stellen der Grofshirnrinde Störungen in bestimmten Empfindungen zur Folge hat. Wir erkennen daraus, dass eine gewisse Gegend der Grofshirnrinde die Elemente enthält, in welchen die Sehempfindung zu stande kommt, eine andre diejenigen, welche die Gehörsempfindungen vermittelt, dass begrenzte Stellen die Gefühlsempfindungen der verschiedenen Körpergegenden (Gesicht, Rumpf, obere und untere Extremitäten) vermitteln. Wieder andre Stellen sind Sitz der Elemente, von denen die Bewegungen in bestimmten Muskelgruppen veranlasst werden. Diese physiologische Gehirntopographie ist nicht nur theoretisch höchst interessant, sie ist auch von grofser praktischer Wichtigkeit, da sie gestattet, durch sorgfältige Beobachtung der Kranken Schlüsse auf den Ort der Erkrankung innerhalb des Gehirns zu ziehen. In einzelnen Fällen wurde dadurch die Möglichkeit gegeben, durch operative Eingriffe (Eröffnung zur Entleerung angesammelten Eiters u. d. g.) das Leben des Kranken zu retten und Heilung zu erzielen.

Muskeln, Drüsen und Nerven haben noch eine Eigenschaft gemeinsam, welche gleichfalls ihre physiologische Verwandtschaft beweist. Sie erzeugen selbständig elektrische Strömungen, die in inniger Beziehung zu ihrer Thätigkeit stehen. Dieselben sind freilich sehr schwach und können nur mit den feinsten physikalischen Hilfsmitteln erforscht werden. Nur bei einzelnen Tieren, den elektrischen Fischen, giebt es eigene Organe, die starke elektrische Ströme erzeugen können. Auch diese Organe gehören im physiologischen Sinne zu derselben Gruppe wie die Muskeln, Drüsen und Nerven, was nicht nur durch die Art ihrer Wirkung, sondern auch durch ihren histologischen Bau und die Art und Weise ihrer Entwicklung bestätigt wird.

---

10. Noch einiges über Muskeln.

66. Aufser den erwähnten elektrischen Erscheinungen ist, wie gesagt, an den Nerven selbst bei ihrer Thätigkeit nichts zu sehen. Um dieselbe zu erkennen, ist man auf die Beobachtung der Wirkungen angewiesen, welche sie auf die mit den Nerven verbundenen anderen Organe, Muskeln oder Drüsen bei den einen, Gehirn bei den anderen, ausübt. Am leichtesten zu beobachten sind die Folgen der Erregung an den Muskeln. Wählt man zu den Versuchen kaltblütige Tiere, z. B. den Frosch, so bietet das noch den besonderen Vorteil, dass Muskeln sowohl wie Nerven ihre Lebenseigenschaften noch lange nach dem Tode des Tieres bewahren, ja auch dann, wenn man diese Gebilde ganz von dem übrigen Körper des Tieres abtrennt.

Man kann einen einzelnen Muskel aus dem Körper eines Frosches loslösen und er behält seine Fähigkeit sich zu verkürzen und dabei Arbeit zu leisten. Wenn man einen solchen Muskel mit seinem einen Ende in einer feststehenden Zange einklemmt (man benutzt dazu zweckmäfsigerweise die Sehne oder noch besser ein Stück des mit dieser verbundenen Knochens) und an sein unteres Ende einen Hebel oder Zeiger befestigt, so kann man die Thätigkeit gut beobachten und auch einer gröfseren Versammlung sichtbar machen. Um die Thätigkeit des Muskels

hervorzurufen, muss man ihn reizen. Das kann durch Reizung des zugehörigen Nerven geschehen; aber auch Reize, welche den Muskel selbst treffen, können ihn zur Thätigkeit veranlassen. Namentlich elektrische Reize wie z. B. die Schläge eines Induktionsapparats eignen sich dazu. Ob dabei die Reizung unmittelbar auf die Muskelsubstanz wirkt oder nur auf die letzten Endigungen der zwischen den Muskelfasern verlaufenden Nerven, ist zweifelhaft. Doch giebt es triftige Gründe für die Annahme, dass die Muskelsubstanz an sich, ebenso wie die der Nerven, selbständig reizbar sei.

67. Beim Anhängen eines Gewichtes an den ungereizten nicht thätigen Muskel beobachtet man, dass er in hohem Grade elastisch ist. Er wird durch kleine Gewichte verhältnismäſsig sehr stark gedehnt; hängt man aber nach und nach immer gröſsere Gewichte an, so nimmt zwar die Dehnung zu, aber nicht in demselben Verhältnis wie die Gewichte, wie dies bei starren Körpern, z. B. Metalldrähten, stets der Fall ist, sondern die Dehnungen wachsen in geringerem Maſse. Wird die Belastung gar zu groſs, so zerreiſst der Muskel. Vermeidet man aber diese allzugroſsen Belastungen, so kehrt der Muskel nach Abnahme des Gewichts wieder genau zu seiner früheren Länge zurück.

Reizt man den belasteten Muskel, so vermag er das angehängte Gewicht zu heben. Die Gröſse der Hebung oder Hubhöhe ist bei kleinen Gewichten groſs, wird aber bei gröſseren Belastungen immer kleiner und bei einer bestimmten Belastung Null. Es giebt also für jeden Muskel eine Grenze der Belastung, bei welcher er sich nicht mehr zu verkürzen vermag, bei welcher also die durch den Reiz erzeugte Thätigkeit die Schwere des Gewichts nicht mehr zu überwinden vermag. Wenn dagegen die Belastung geringer ist, so wird das Gewicht gehoben und damit Arbeit geleistet. Nach den Grundsätzen der Mechanik wird diese Arbeit gemessen durch das Produkt des gehobenen Gewichts in die Hubhöhe. Wenn z. B. eine Maschine eine Last von 10 kg (Kilogramm) 3 m (Meter) hoch hebt, so leistet sie 30 kgm (Kilogramm-Meter) Arbeit. Der gereizte Muskel ist eine Arbeitsmaschine besondrer Art. Hängt gar kein Gewicht an ihm, so kann er sich sehr stark zusammenziehen, aber er leistet dabei keine Arbeit, denn das Produkt Hubhöhe (h) $\times$ Last (p) ist, wenn

$p = 0$ ist, auch $= 0$. Ist p so grofs, dass $h = 0$ wird, so ist das Produkt $p.h$ wiederum $= 0$. Zwischen diesen Belastungsgrenzen liegen diejenigen, bei welchen Arbeit geleistet wird. Und da, nach einem bestimmten Verhältnis die Hubhöhe h mit steigendem p kleiner wird, so ist die Folge, dass es eine bestimmte Belastung giebt, bei welcher das Produkt $p.h$ den gröfsten, möglichen Wert erreicht, ein Maximum wird.

Dies alles gilt nicht blofs von dem ausgeschnittenen Muskel, sondern auch von denen des unversehrten Körpers, wenn sie sich unter dem Einfluss des Willens zusammenziehen. Die Muskeln heben dann, in der Regel durch Vermittelung der Knochen, die Last der betreffenden Gliedmafsen oder auch äufsere, diesen hinzugefügte Lasten. (Vgl. Vorlesung VII, § 6 ff.). Um dabei die gröfstmöglichste Arbeitsleistung zu erzielen, muss die Last gleichfalls einen mittleren Wert haben. Und was von einem einzelnen Muskel gilt, passt ebenso auch auf Gruppen von mehreren Muskeln, welche bei bestimmten Bewegungen zusammenwirken.*

68. Wenn eine Maschine Arbeit leistet, so muss dies durch Verbrauch einer anderen Energie geschehen, da nach einem allgemeinen Naturgesetz die Summe der in der Natur vorhandenen Energiemengen unveränderlich ist. In der Dampfmaschine z. B. wird die Arbeitsleistung durch die Verbrennung von Kohle erzeugt. Beim Muskel ist dies nicht anders. Auch in ihm verbrennen kohlenstoffhaltige Substanzen, wobei Kohlensäure und andre Substanzen entstehen. Und auch darin gleicht der Muskel der Dampfmaschine, dass nicht die ganze durch die Verbrennung erzeugte Energie in mechanische Arbeit übergeführt wird, sondern ein Teil in Form von Wärme auftritt. Der Muskel er-

---

* Der Hebung von Lasten gleichwertig ist die Überwindung von Widerständen, z. B. der Reibung. Wenn z. B. ein Pferd, vor einen Wagen gespannt, denselben durch Anstemmen seiner Beine gegen den Boden auf ebner Bahn fortbewegt, so wird die Last nicht gehoben. Die Arbeitsleistung der stemmenden Muskeln besteht hier blofs in der Überwindung der Reibung an den Radumfängen und Radachsen. Zieht aber ein Pferd vermittelst eines über Rollen geführten Seils ein Gewicht in die Höhe, wie man dies zuweilen bei Bauten beobachten kann, so spielt die Reibung an den Rollen eine untergeordnete Rolle und der Fall hat mit der Wirkungsweise unsres ausgeschnittenen Muskels schon mehr Ähnlichkeit.

warmt sich bei der Thätigkeit. Durch jene Umsetzungen der Brennstoffe im Muskel wird ein Teil seiner Substanz verbraucht, die erzeugten Produkte werden vom Blute fortgespült und in den Ausscheidungen aus dem Körper entfernt. Damit der Muskel leistungsfähig bleibe, müssen ihm durch das Blut neue Stoffe zum Ersatz für die verbrauchten zugeführt — der Muskel muss ernährt werden. Bei lebhafter Thätigkeit geschieht aber die Fortführung der entstandenen Zersetzungsprodukte nicht schnell genug; dieselben häufen sich vorübergehend im Muskel an. Es scheint, dass diese Stoffe einen nachteiligen Einfluss auf die Thätigkeit ausüben, sie erschweren, und dass hierdurch die Erscheinung der Ermüdung bewirkt wird. Wenn dann durch den Blutstrom die Zersetzungsstoffe entfernt und zugleich neues Nährmaterial zugeführt wird, so erholt sich der Muskel wieder. Ja er kann sogar, wenn die Nahrungszufuhr reichlich ist, stärker werden, als er vorher war.

69. Zur Reizung der Muskeln bedient man sich bei diesen Versuchen am zweckmäfsigsten einzelner elektrischer Schläge, wie sie von sogenannten Induktorien erzeugt werden. Ein einzelner solcher Schlag, der nur eine sehr geringe Zeitdauer hat, bewirkt stets eine einzelne, schnell vorübergehende Zusammenziehung des Muskels, eine sogenannte Zuckung. Die bei der kurzen Zeitdauer der Zuckung schwierige Messung der Hubhöhe wird erleichtert, indem man an dem (in No. 66) erwähnten Hebel eine feine Spitze befestigt, welche gegen eine vertikale Fläche lehnt. Dieselbe zeichnet, wenn der Muskel sich zusammenzieht, eine vertikale Linie deren Höhe der Hubhöhe entspricht. Wenn aber diese vertikale Fläche während der Zusammenziehung gleichzeitig mit grofser Geschwindigkeit verschoben wird, so zeichnet die Spitze statt einer vertikalen geraden Linie eine krumme Linie von der Art, wie sie in Fig. 117 dargestellt ist. Um zu erkennen, mit

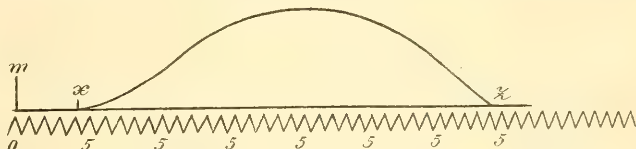


Fig. 117.
Muskelkurve.

welcher Geschwindigkeit die Bewegung der Fläche vor sich ging, wurde in diesem Versuch unter der mit dem

Muskelhebel verbundenen Spitze noch eine zweite angebracht, welche an der einen Zinke einer tönenden Stimmgabel befestigt war. Da die Schwingungen einer solchen Stimmgabel sehr regelmäſsig erfolgen, so erhält man dadurch ein Mittel, die Zeitdauer der Verschiebung genau zu messen.

Während die Schreibfläche sich in der Richtung von rechts nach links verschob, schrieb die am unthätigen Muskelhebel befestigte Spitze zuerst die horizontale Linie auf. Die Platte wurde dann wieder zurückgeführt, bis die Schreibspitze an der Stelle *O* stand und der Muskel bei ruhender Platte einmal gereizt; hierdurch wurde die vertikale Linie *Om* gezeichnet. Nun erst begann der eigentliche Versuch, indem während der schnellen Bewegung der Platte die Reizung vorgenommen wurde u. z. genau in dem Moment, wo die Zeichenspitze bei *O* stand; gleichzeitig wurden auch die Stimmgabelschwingungen aufgezeichnet.

Der Versuch lehrt nun, dass die Verkürzung des Muskels nicht sofort in dem Moment der Reizung beginnt. Denn die Platte hatte Zeit, sich um das kleine Stück *Ox* zu verschieben, während welcher Zeit 4 Stimmgabelschwingungen aufgeschrieben wurden. Nun erst begann die Verkürzung, aber ganz allmählich, so dass sie nach ungefähr 15 Schwingungen der Stimmgabel später ihre gröſste Höhe erreichte. Darauf folgte dann eine gleichfalls allmählich erfolgende Verlängerung des Muskels, so dass erst nach 34 Stimmgabelschwingungen (vom Moment der Reizung an gerechnet) die ganze Zuckung vollendet war.

Wenn die Muskeln ermüden, so wird der ganze Vorgang der Zuckung noch mehr in die Länge gezogen. Bei den glatten Muskelfasern aber (s. Vorlesung VII, § 4 und Vorlesung XII, § 38) erfolgt die Zusammenziehung immer so allmählich, dass es gar keiner künstlichen Hilfsmittel bedarf, um zu beobachten, dass sie erst einige Zeit nach der Einwirkung des Reizes langsam entsteht und ebenso allmählich wieder vergeht.

70. Lässt man mehrere einzelne Reize schnell hintereinander auf einen Muskel einwirken, so verschmelzen die einzelnen Zuckungen miteinander und man erhält statt einer Zuckung eine stetige, anhaltende Zusammenziehung, welche man als Tetanus* bezeichnet. Die willkürlichen, unter dem Einfluss des

* Von dem griechischen Worte *τεινω*, spannen — also soviel als: Zustand der Spannung oder des Gespanntseins.

Nervensystems erfolgenden Zusammenziehungen unsrer Muskeln sind selten einzelne Zuckungen, sondern meistens solche, mehr oder weniger lange Zeit anhaltenden tetanischen Zusammenziehungen. Wir müssen annehmen, dass in diesem Falle auch eine Reihe schnell aufeinander folgender Reize durch den Nerven auf den Muskel einwirken. Wir können nämlich auch durch Reizung der Muskelnerven sowohl einzelne Zuckungen wie auch tetanische Zusammenziehungen hervorrufen, je nachdem wir einen einzelnen Reiz oder eine Reihe schnell aufeinander folgender Reize auf den Nerven einwirken lassen. Und dasselbe muss offenbar auch durch die von den Nervenzellen ausgehenden Reize geschehen können. Die Zahl der Reize, welche notwendig sind, um einen ganz stetigen Tetanus zu erzeugen, beträgt etwa 18 in der Sekunde.

Obgleich ein tetanisch zusammengezogener Muskel äufserlich eine vollkommen stetige Formveränderung zeigt, so müssen doch in ihm innere, molekulare Bewegungen vor sich gehen. Legt man nämlich das Ohr an einen solchen Muskel, so hört man ein Geräusch. Man kann dieses Muskelgeräusch gut wahrnehmen, wenn man in der stillen Nacht die Zähne fest gegeneinander presst. Das in den Kaumuskeln entstehende Geräusch wird dann durch die Kopfknochen den Gehörorganen zugeleitet. Das Geräusch ist dumpf und hat etwas Ähnlichkeit mit einem sehr tiefen Ton von 32—36 Schwingungen in der Sekunde. Wenn man aber einen Muskel künstlich mit Induktionsströmen reizt, so kann man wahre Muskeltöne von sehr verschiedenen Höhen erzeugen. Die Höhen entsprechen nämlich genau der Anzahl der Reize, welche auf den Muskel wirken. Und dies beweist, dass, während der Muskel scheinbar ganz stetig zusammengezogen ist, dennoch jedem ihn treffenden Reiz eine molekulare Bewegung in seinem Innern entspricht.

Auch durch Beobachtung der früher kurz erwähnten elektrischen Erscheinungen (s. No. 65) kommt man zu ganz ähnlichen Schlüssen. Die elektrischen Wirkungen des Muskels zeigen nämlich bei jeder Zuckung eine plötzliche Veränderung, während des Tetanus aber fortwährende Schwankungen entsprechend den einzelnen Reizen.

Der im Muskel bei der Zusammenziehung entstehende Muskelton ist auch zur Erklärung des ersten Herztons benutzt

worden (vgl. Vorlesung II, § 15). Diese Erklärung ist umso annehmbarer, als man nachgewiesen hat, dass der erste Herzton auch gehört wird unter Umständen, wo eine Spannung der Herzklappen nicht entstehen kann. Der zweite Herzton hingegen entsteht sicher durch die plötzliche Spannung der Aorten- und Lungenarterienklappen und fällt aus, wenn diese unmöglich gemacht wird.

II. Die Empfindungsnerven.

71. Es ist schon mehrfach betont worden, dass zwischen den motorischen und sensiblen Nervenfasern keine Unterschiede, weder in histologischer Hinsicht noch in ihren physiologischen Eigenschaften nachweisbar sind. Wenn bei Reizung eines motorischen Nerven die Muskeln, mit denen er in Verbindung steht, zucken. bei Reizung eines sensiblen Nerven keine Muskelzuckung eintritt. so ist das leicht zu verstehen. Es fehlt im letzteren Falle eben an der Verbindung der Nervenfasern mit Muskeln, auf die er seine Erregung übertragen könnte. Warum aber entsteht bei Reizung eines motorischen Nerven, wenn derselbe in unversehrtem Zusammenhang mit Gehirn und Rückenmark steht, keine Empfindung, wie dies bei Reizung eines sensiblen Nerven der Fall ist? Der Grund hierfür kann nicht darin liegen, dass die motorischen Nerven oder, wie wir sie auch genannt haben. die a b l e i t e n d e n Nerven (Vorlesung VIII, § 1), etwa nur in der Richtung nach der Peripherie, die z u l e i t e n d e n Nerven dagegen nur in der entgegengesetzten Richtung zu leiten im stande seien. Das ist, wie schon in der Vorlesung XI, § 10 gesagt wurde. nicht der Fall. Wenn also die Erregung einer motorischen Faser niemals eine Empfindung verursacht, so kann dies nur durch die Annahme erklärt werden, dass diejenigen Teile des Centralnervensystems, mit welchen die motorischen Nervenfasern in Verbindung stehen, unfähig sind, den Vorgang in sich zu erzeugen, von welchem die Empfindung abhängt.

72. Wenn wir aber so den verschiedenen Teilen des Nervensystems verschiedene Eigenschaften zuschreiben. dann können wir auch annehmen. dass diejenigen unter ihnen, welche die Empfindungen vermitteln, untereinander noch Verschiedenheiten

besitzen und dass von diesen die Unterschiede der Empfindungen abhängen. Es würde sich dann erklären, warum ein jeder Sinnesnerv immer nur eine bestimmte Art von Empfindung hervorrufen kann, gleichgiltig durch welche Art von Reiz er in Erregung versetzt wird. Druck aufs Auge, welcher den Sehnerven mechanisch reizt, oder elektrische Reizung desselben müssen nach dieser Auffassung immer nur Lichtempfindung hervorrufen, wie es thatsächlich der Fall ist. Da aber die einzelnen Empfindungsnerven an ihren peripherischen Enden mit besonderen Endapparaten in Verbindung stehen, so giebt es für jeden derselben eine besondre Art der Reizung, für welche er am leichtesten oder auch ausschliefslich zugänglich ist. Dass Licht nur auf den Sehnerven wirkt, versteht man ohne weiteres, weil nur dieser Nerv in einen Endapparat ausläuft, der von durchsichtigen Medien bedeckt ist. Aber wenn so die Lichtstrahlen zu jenem Endapparat Zutritt erlangen können, so kann es doch nur an der Einrichtung des letzteren allein liegen, dass er durch jene auch erregt wird. Dieselben Lichtstrahlen treffen ja auch den Sehnerven selbst in der Eintrittsstelle des Nerven, und diese Stelle ist für Licht unempfindlich (Vorlesung IX, § 5). Und dieselben Lichtstrahlen rufen, wenn sie auf die Haut fallen, eine ganz andre Art der Empfindung, die der Wärme, hervor. Ähnliches kann man für alle Empfindungsnerven beweisen.

73. Gegen diese Auffassung scheint zu sprechen, dass wir bei Berührung einer Hautstelle gleichzeitig ganz verschiedene Arten von Empfindungen erhalten können: Tast- und Druck-, Wärme- und Kälteempfindung. So dicht auch die Nervenendigungen in manchen Hautstellen gedrängt sein mögen, unmöglich können wir voraussetzen, dass von jedem Punkte der Haut mehrere getrennte Nervenbahnen bis zum Gehirn verlaufen. Und doch würde diese Annahme notwendig aus unsrer Vorstellung von der Art des Zustandekommens verschiedener Empfindungen folgen, da nur da, wo verschiedene Leitungsbahnen vorhanden sind, die Möglichkeit vorliegt, dass die Erregung zu verschiedenen Teilen des Gehirns geleitet wird.

Diese Schwierigkeit wird beseitigt durch neuerdings gemachte Beobachtungen, nach denen die Stellen, an denen man Druck, Wärme und Kälte wahrnehmen kann, auf der Haut getrennt liegen. Die Täuschung, als ob dieselbe Hautstelle alle

drei Arten von Empfindungen vermitteln könne, rührt nur davon her, dass wir meistens Gegenstände von einer gewissen Flächenausdehnung berühren, welche gleichzeitig viele Punkte der Haut treffen und also mehrere Nervenendigungen zugleich erregen können. Stellt man aber Versuche mit recht dünnen Körpern, z. B. einer Stricknadel, an, indem man mit derselben nacheinander verschiedene Punkte der Haut berührt, so zeigt sich folgendes: Es giebt Punkte der Haut, an denen man durchaus nicht wahrnehmen kann, ob der berührende Körper warm oder kalt ist; dagegen empfindet man es, wenn der Punkt gedrückt wird. Zwischen diesen liegen andre, an denen man es sehr gut wahrnimmt, wenn die Stricknadel warm, und andre, an denen man ebenso leicht wahrnehmen kann, wenn sie kalt ist. Es giebt also getrennt liegende Druck-, Wärme- und Kältepunkte, von denen getrennte Nervenbahnen zum Gehirn verlaufen und also auch verschiedenartige Empfindungen veranlassen können. Die Empfindungen von Wärme und Kälte sind im physiologischen Sinne als verschieden aufzufassen. Dass sie durch verschiedene Temperaturgrade eines und desselben äufseren Gegenstandes verursacht werden können, ändert nichts daran, dass die Empfindungen, welche sie in uns hervorrufen, nicht dem Grade, sondern der Art nach, verschieden sind. Niemand kann behaupten, dass etwa die Wärmeempfindung ein höherer Grad derselben Empfindung sei, wie die Empfindung der Kälte. Sie sind nicht mehr und nicht minder von einander verschieden wie etwa Lichtempfindung und Schallempfindung.

74. Eine ganz ähnliche Schwierigkeit bietet die physiologische Erklärung der Farbenempfindung dar. Die einzelnen Punkte der Netzhaut, welche getrennt erregt werden und uns daher getrennt wahrgenommene Empfindungen vermitteln können, sind sehr klein und namentlich im sogenannten gelben Fleck der Netzhaut sehr dicht gestellt. Sie entsprechen vollkommen den Stäbchen und Zapfen der Netzhaut (Vorlesung IX, § 3 ff.). Nun können aber die Empfindungen, welche von einem begrenzten Punkte der Netzhaut vermittelt werden, noch verschiedener Art sein, nämlich der Farbe nach.

Es giebt in Wahrheit unendlich viele, von einander verschiedene Farben; denn wenn wir das weifse Sonnenlicht in dem sogenannten Spektrum zu einem langen Bande auseinander

ziehen, so sehen wir ganz allmähliche Übergänge der einzelnen Farben vom äufsersten Rot bis zum letzten Violett. Dass wir diese mit sieben Hauptnamen: Rot, Orange, Gelb, Grün, Indigo, Cyanblau, Violett bezeichnen und die Zwischenstufen mit zusammengesetzten Namen wie gelbgrün oder grünlichblau u. s. w., liegt nur in einer Unvollkommenheit unsrer Sprache, die aber auch ihre Vorteile hat. Wollten wir für jede der feinen Farbenabstufungen, welche ein Auge zwischen Grün und Gelb oder zwei anderen, im Spektrum benachbarten Farben noch unterscheiden kann, verschiedene Namen einführen, so würde diese kein Mensch im Kopf behalten können, und die Verständigung würde durch fortwährende Verwechselungen nur erschwert werden.

75. Dass Grün und Rot und ebenso zwei beliebige andre Farben Empfindungen verschiedener Art sind, wird niemand bezweifeln. Man kann aber die unzähligen Farbenempfindungen zurückführen auf drei Grundempfindungen: Rot, Grün, Violett. Alle andren Farbenempfindungen können als Mischungen aus diesen aufgefasst werden. Diese Lehre wurde zuerst von dem Engländer Thomas Young aufgestellt und ihre Richtigkeit wurde von Helmholtz durch Versuche erwiesen. Man bezeichnet sie deshalb als die Young-Helmholtz'sche Farbentheorie.

Die Farben des Sonnenspektrums werden erhalten, indem man das weifse Licht in seine Bestandteile zerlegt. Die Physiker haben gefunden, dass das Licht auf Schwingungen beruht, dass aber im Sonnenlicht Schwingungen von verschiedener Schwingungszahl oder Wellenlänge vor sich gehen. Beim Durchgang durch ein Glasprisma werden diese von ihrem geraden Wege abgelenkt, die langsamen Schwingungen aber weniger als die schnellen. Sie können daher getrennt in das Auge eintreten. Aufserhalb unsres Körpers giebt es keine Farben. Da giebt es nur Schwingungen von gröfserer oder geringerer Schwingungszahl. Indem diese in unserm Auge verschieden wirken, rufen sie verschiedene Empfindungen hervor und diese nennen wir Farben.

Richtet man den Versuch so ein, dass die durch ein Prisma oder sonstwie getrennten Schwingungen wieder auf dieselbe Stelle unsrer Netzhaut wirken, so entsteht die Empfindung Weifs. Dieselbe ist also in Wirklichkeit eine zusammengesetzte Empfindung.

Wir können aber dieselbe Empfindung auch erzeugen, wenn wir nicht alle Arten von Schwingungen, sondern nur zwei oder drei in passender Weise auf dieselbe Stelle der Netzhaut wirken lassen. Je zwei Farben, welche zusammen Weiſs geben, nennt man **Ergänzungs-** oder **Komplementärfarben**. Setzt man zwei Farben zusammen, welche nicht zu einander komplementär sind, so entsteht eine dritte Farbe.

Alle diese Erscheinungen lassen sich erklären, wenn man annimmt, dass in unserem Auge drei Arten von empfindlichen Elementen vorhanden sind, welche durch Licht in verschiedener Weise erregt werden, etwa so wie es Fig. 118 darstellt. Alle die Lichtarten, welche im weiſsen Licht vereinigt sind, wirken auf die drei empfindlichen Elemente, aber in verschiedenem Grade. Auf die Elemente 1 wirken die langsamen Schwingungen stark, die schnellen schwach; auf die Elemente 2 wirken die mittleren Schwingungen am stärksten, auf die Elemente 3 wirken die schnellen Schwingungen am stärksten. Werden nur Elemente einer Art erregt, dann entsteht diejenige Empfindung, welche den betreffenden Elementen entspricht: bei 1 Rot, bei 2 Grün, bei 3 Violett. Durch Erregung von zwei Elementen entstehen Mischfarben, z. B. bei ungefähr gleichstarker Erregung der Elemente 1 und 2 die Empfindung Gelb, durch ungefähr gleichstarke Erregung der Elemente 2 und 3 die Empfindung Blaugrün. Bei gleichstarker Erregung aller drei Elemente entsteht die Empfindung Weiſs. Diese letztere Empfindung kann daher auf sehr verschiedene Weise zu stande kommen:

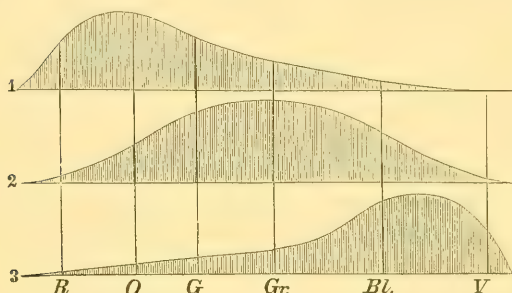


Fig. 118.
Wirkung des Lichts auf die farbenempfindenden Elemente.

1) Durch drei Farben, von denen jede eine der Grundempfindungen hervorruft: Rot, Grün und Violett.

2) Durch zwei Farben, von denen eine einer Grundempfindung entspricht, die andre der Mischung aus den beiden andern

Grundempfindungen: Rot und Blaugrün, Violett und Gelb, Grün und Purpur.*

3) Durch zwei Farben, von denen jede einer Mischung je zweier Grundfarben entspricht wie Blau und Gelb.

76. Diese Farbentheorie erklärt auch die Erscheinungen der Kontrastfarben (Vorlesung IX, § 7). Hat starkes rotes Licht auf eine Stelle der Netzhaut eingewirkt und die rotempfindenden Elemente ermüdet, so wird jetzt neutrales Licht, das sonst alle drei Elemente gleichmäfsig erregen würde, nur auf die grün- und violettempfindenden Elemente wirken können und deshalb die Empfindung Blaugrün hervorrufen. Man sieht hieraus, dass die subjektiv auftretenden Kontrastfarben immer der Complementärfarbe derjenigen Farbe gleich sein müssen, durch welche die Ermüdung verursacht wurde.

Ebenso lassen sich auf Grund dieser Theorie auch die Erscheinungen der Farbenblindheit gut erklären. Wenn in einem Auge statt dreier nur zwei verschiedene Arten von farbenempfindenden Elementen vertreten sind, so kann alles Licht nur diese zwei Empfindungen und Mischungen aus diesen hervorrufen. Nehmen wir an, die rotempfindenden Elemente fehlen, was in der That am häufigsten vorkommt. Was anderen Menschen rot erscheint, macht auf diese Menschen nur einen schwachen Eindruck durch das allen Farben immer beigemischte neutrale Licht. In den seltenen Fällen, wo dieses beigemischte Licht sehr schwach ist, z. B. in einem guten Spektrum, sehen sie überhaupt nichts: das Spektrum fängt für sie erst an einer andern Stelle an, etwa bei *O* in Fig. 119. Was uns Blaugrün erscheint, also aus Mischung der zweiten und dritten Farbenelemente entsteht, macht bei jenen schon die Summe aller Farbenempfindung aus, entspricht also dem Weifs. Sie werden daher Weifs, Rot und Blaugrün nicht der Farbe nach, sondern nur als verschiedene Helligkeitsgrade wahrnehmen. Verwechselungen von Rot und Blaugrün kommen daher häufig bei solchen Menschen vor. Man nennt sie deshalb „Rotblinde“ oder wegen der erwähnten Verwechselungen auch wohl „Rot-Grün-Blinde.“ Andre Arten von Farbenblindheit, nämlich Grün- oder Violettblindheit kommen auch, aber seltner vor.

* Unter Purpur sind die Farbenmischungen aus Rot und Violett zu verstehen. Sie kommen im Sonnenspektrum nicht vor,

Die Joung-Helmholtz'sche Farbentheorie hebt die Schwierigkeit, von welcher in No. 74 ff. die Rede war, nicht vollkommen, weil es immer noch schwer zu verstehen ist, wie auf dem kleinen Raum eines Stäbchens oder Zapfens drei verschiedene Nervenfasern entspringen sollen. Man hat versucht, dieselbe in ähnlicher Weise zu beseitigen wie bei der Haut durch die Annahme dass die empfindlichen Elemente für Rot, Grün und Violett neben einander in der Netzhaut so verteilt seien, dass jedes Stäbchen oder jeder Zapfen nur für eine dieser Empfindungen befähigt sei. Bei der aufserordentlichen Kleinheit dieser Gebilde ist der experimentelle Nachweis für diese Annahme aber sehr schwer zu führen. Die Versuche sind zudem so anstrengend, ja sogar für das Auge gefährlich, dass eine Entscheidung bisher noch nicht erfolgt ist.

77. Im Vorhergehenden ist darauf hingewiesen worden, dass mit nur drei empfindlichen Elementen dennoch die unendliche Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen erklärt werden kann. Wir müssen eben annehmen, dass bei gleichzeitiger Erregung zweier einfachen Empfindnngen eine dritte Empfindung entsteht, die unserm Bewusstsein vollkommen einfach erscheint, obgleich sie in Wirklichkeit eine gemischte ist. Wenn bestimmte Empfindungen öfter in vollkommen gleichartiger Weise wiederkehren, so halten wir sie zunächst immer für einfach. Nur wenn kleine Änderungen in den äufseren Umständen es ermöglichen, die Bestandteile, aus denen sich die Empfindung zusammensetzt, getrennt wahrzunehmen, gelingt es zuweilen, sich von der zusammengesetzten Natur der Empfindung Rechenschaft zu geben. Das ist leichter, wenn die einzelnen Empfindungen, welche in unserem Bewusstsein zusammentreffen, durch ganz verschiedene Sinnesorgane vermittelt werden. Wenn wir Gegenstände in den Mund nehmen, so wirken dieselben in der Regel auf die Gefühls- und auf die Geschmacksnerven zugleich ein, nicht selten auch noch auf die Geruchsnerven. Wir halten trotzdem die Empfindungen, welche dadurch entstehen, meistens für einfache Geschmacksempfindungen. Wie sich derartige gemischte Empfindungen noch mit Urteilen verknüpfen und fälschlich als einfache Empfindungen aufgefasst werden können, ist in Vorlesung X. § 1—4 auseinandergesetzt.

78. Die hier vorgetragene Theorie findet ihre konsequenteste

Durchführung in der von Helmholtz aufgestellten Annahme, dass die vielen Nervenfasern in der Schnecke des inneren Ohres (in dem Corti'schen Organ) jede für die Empfindung nur eines Tones von bestimmter Höhe dienen (Vorlesung VIII, § 30). Auch hier müssen wir zwischen einfachen und gemischten Empfindungen unterscheiden. Letztere, die Klänge, sind aus einer grofsen Zahl von einzelnen Tonempfindungen zusammengesetzt, ohne dass wir uns dessen bewusst werden. Wir können zwar deutlich unterscheiden, ob ein Klang von einer Geige, Flöte oder Klarinette herrührt, auch dann wenn die Höhe dieselbe ist. Dass aber diese Unterschiede von der Verschiedenheit in der Stärke der Teiltöne herrühre, ist erst durch die physikalische Untersuchung herausgebracht worden, in unsrer Empfindung erscheint jeder dieser Klänge als etwas für sich Bestehendes, Einfaches, das wir als solches erkennen, wenn es uns durch frühere Erfahrungen bekannt ist. Die physiologische Theorie der Verschmelzung einfacher Empfindungen zu gemischten giebt uns aber die Möglichkeit zu verstehen, warum die sogenannte Klangfarbe durch die Art der Zusammensetzung des Klanges aus feinen Teiltönen bedingt ist, ja sie hat sogar Helmholtz dazu geführt, die Grundgesetze der musikalischen Harmonielehre aus den Eigenschaften der tonempfindenden Elemente abzuleiten.

Nicht nur die Empfindungen an sich sondern auch das mit ihnen verbundene Lust- oder Unlustgefühl muss offenbar von der Einrichtung unsrer empfindenden Nerven mit bedingt sein Der ästhetischen Wirkung einer jeden Kunst müssen also gewisse physiologische Bedingungen zu grunde liegen. Diese zu erkennen, ist ebenso eine Aufgabe der Physiologie wie die Erkenntnis aller anderen Lebenserscheinungen.

REGISTER.

Druck von Hesse & Becker in Leipzig.

